

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS**

**ANA FLÁVIA TEIXEIRA MATHEUS**

**SISTEMAS ENERGÉTICOS RESIDENCIAIS: avaliação do  
cenário atual brasileiro e alternativas para autogeração  
sustentável**

**SÃO CARLOS - SP**  
**2022**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS**

ANA FLÁVIA TEIXEIRA MATHEUS

**SISTEMAS ENERGÉTICOS RESIDENCIAIS: avaliação do  
cenário atual brasileiro e alternativas para autogeração  
sustentável**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade Federal de São Carlos, como parte dos requisitos para a titulação de Mestre em Ciências Ambientais.

Orientador: Prof. Dr. Francisco Antônio Dupas

São Carlos-SP  
2022

Teixeira Matheus, Ana Flávia

Sistemas energéticos residenciais: avaliação do cenário atual brasileiro e alternativas para autogeração sustentável / Ana Flávia Teixeira Matheus -- 2022. 129f.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de São Carlos, campus São Carlos, São Carlos  
Orientador (a): Francisco Antônio Dupas  
Banca Examinadora: Mauro Donizeti Berni, Sergio Valdir Bajay, Francisco Antônio Dupas  
Bibliografia

1. Energia residencial. 2. Sustentabilidade energética. 3. Planejamento energético. I. Teixeira Matheus, Ana Flávia. II. Título.

Ficha catalográfica desenvolvida pela Secretaria Geral de Informática (SIn)

DADOS FORNECIDOS PELO AUTOR

Bibliotecário responsável: Ronildo Santos Prado - CRB/8 7325



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS**

Centro de Ciências Biológicas e da Saúde  
Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais

---

**Folha de Aprovação**

---

Defesa de Dissertação de Mestrado da candidata Ana Flávia Teixeira Matheus, realizada em 04/02/2022.

**Comissão Julgadora:**

Prof. Dr. Francisco Antonio Dupas (UFSCar)

Prof. Dr. Mauro Donizeti Berni (UNICAMP)

Prof. Dr. Sérgio Valdir Bajay (UNICAMP)

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil(CAPES) - Código de Financiamento 001.

O Relatório de Defesa assinado pelos membros da Comissão Julgadora encontra-se arquivado junto ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais.

Dedico esse trabalho às minhas filhas e à todos os seres que herdarão esse planeta. Dedico à minha mãe, meu pai e meu companheiro: o apoio de vocês é fundamental.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, à meus pais e a todos nossos antecessores, por tudo o que me foi proporcionado em educação, valores, conscientização, condições econômicas e amor, desde meu nascimento até o presente. Meus agradecimentos, se estendem ao meu companheiro e parceiro de vida, Ariel, por todo o apoio e incentivo, e a nossas filhas Kali e Isis, que me motivam a trabalhar e estudar soluções para questões atuais.

Agradeço ao meu orientador, professor Francisco Antônio Dupas por todo apoio, dedicação, motivação e paciência durante toda a pesquisa. A todos os professores do Departamento de Ciências Ambientais da UFSCar, que colaboraram com ensinamentos e conhecimentos transmitidos. À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES). Ao secretário do programa de pós-graduação, Vinícius, por todo suporte e esclarecimentos dados com relação à qualificação, defesa e prazos.

Meus agradecimentos também aos professores Mauro Berni e Sérgio Valdir Bajay, que muito cordialmente aceitaram participar da minha banca de defesa e contribuir para o conteúdo do meu trabalho com seus vastos saberes.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001

*“De tudo ficaram três coisas ...  
A certeza de que estamos começando ...  
A certeza que é preciso continuar ...  
A certeza de que podemos ser interrompidos  
antes de terminar ...  
Fazemos da interrupção um caminho novo ...  
Da queda um passo de dança ...  
Do medo, uma escada ...  
Do sonho, uma ponte ...  
Da procura, um encontro!”*  
**Fernando Sabino, O Encontro Marcado.**

## RESUMO

Matheus, A. F. T. – **Sistemas energéticos residenciais: avaliação do cenário atual brasileiro e alternativas para autogeração sustentável**. 2021 – 128f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de São Carlos, Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, São Carlos, 2021.

A partir da análise do panorama atual dos sistemas energéticos residenciais do país e estimativas do potencial de autoprodução das residências brasileiras, esse trabalho propõe soluções para questões de âmbito ambiental e de segurança energética no país. Essa dissertação se divide em quatro capítulos, sendo o primeiro introdutório, o segundo composto por uma revisão da literatura - que passa pelos conceitos de planejamento energético, programas de incentivo e da legislação acerca do tema, geração distribuída e das tecnologias disponíveis para a autoprodução de energia residencial- o terceiro, um artigo – em que são feitas estimativas de potenciais teóricos de aproveitamento energético do setor residencial brasileiro – e por fim, o quarto capítulo de considerações finais. A autoprodução fotovoltaica de eletricidade combinada – ou não- com sistemas de aquecimento solar nas casas brasileiras possuem potencial de redução de 7% do consumo elétrico nacional, enquanto a utilização do biogás para cocção em residências sem coleta de esgoto doméstico pode reduzir em 4% o consumo de GLP brasileiro e resolver questões de saneamento para até 32% da população. A pesquisa se insere, portanto, na temática da sustentabilidade energética e representa um esforço inicial em chamar atenção para a possibilidade de replanejamento energético a partir da autoprodução residencial, apontando caminhos possíveis para o Poder Público fomentar, com incentivos e investimentos, soluções significativas para os setores de energia e meio ambiente. Ao final, algumas reflexões acerca das contribuições e limitações do trabalho erguem questões que podem ser continuadas e aprofundadas por pesquisas futuras.

**Palavras-chave:** geração distribuída, energia solar, biodigestor, sustentabilidade energética residencial, planejamento energético, planejamento territorial.



## ABSTRACT

Matheus, A. F. T. – **Residential energy systems: an assessment of the current Brazilian scenario and alternatives for sustainable self-generation.** 2021 – 128p. Dissertation (Masters) – Federal University of São Carlos, Center for Biological and Health Sciences, Postgraduate Program in Environmental Sciences, São Carlos, 2021.

From the analysis of the current landscape of the country's residential energy systems and estimates of the potential for self-production of Brazilian residences, this work proposed solutions for environmental and energy security issues in the country. This dissertation is divided into four chapters, the first being introductory, the second consisting of a literature review - which goes through the concepts of energy planning, incentive programs and legislation on the subject, distributed generation and the technologies available for the self-production of residential energy - the third, an article - in which estimates of theoretical potentials for energy use in the Brazilian residential sector are made - and finally, the fourth chapter of final considerations. Photovoltaic electricity self-production combined - or not- with solar water heating systems in Brazilian houses have a potential for reducing 7% of national electric consumption, while the use of biogas for domestic cooking without collecting domestic sewage can reduce by 4% consumption of Brazilian GLP and resolve sanitation issues for up to 32% of the population. The research is therefore in the theme of energy sustainability and represents an initial effort to draw attention to the possibility of energy re-planning from residential self-production, pointing out possible paths for the public power to foster, with incentives and investments, significant solutions for energy and environment sectors. In the end, some reflections about the contributions and limitations of the work raise questions that can be continued and deepened by future research.

**Keywords:** distributed generation, solar energy, biodigester, residential energy sustainability, energy planning, territorial planning.

## LISTA DE FIGURAS

### DISSERTAÇÃO – CAPÍTULOS 1, 2 E 4

Figura 01 – Fluxograma da estrutura da dissertação	p.21
Figura 02 – Parcela de energia primária de fontes de baixo carbono no mundo em 2019	p. 31
Figura 03 – Composição Setorial do Consumo de Derivados de Petróleo	p. 32
Figura 04 – Participação das fontes no consumo residencial	p. 37
Figura 05 – Papel e Atuação do Governo: Dez princípios para o Setor de Energia	p. 39
Figura 06 – Questões transversais abordadas no PNE2050	p. 41
Figura 07 – Triângulo das leis e políticas de energia: “The Energy Trilema”	p. 47
Figura 08 – Evolução anual da potência FV instalada no Mundo	p. 52

### ARTIGO – CAPÍTULO 3

Figura 01 – Consumo Final no Setor Residencial brasileiro ao longo dos anos	p. 57
Figura 02 – Fluxograma de metodologia do trabalho	p. 58
Figura 03 – Porcentagem da população para cada faixa de consumo de eletricidade	p. 66
Figura 04 – Fonte de aquecimento de água para o banho (a) no Brasil; (b) no Sudeste	p. 67
Figura 05 – Média anual do total diário de irradiação global horizontal	p. 68
Figura 06 – Potencial Fotovoltaico residencial por município brasileiro	p. 100
Figura 07 – Potencial técnico de geração fotovoltaica em telhados residenciais por estado	p. 100
Figura 08 – Projeção do crescimento da capacidade instalada até 2050	p. 101
Figura 09 – Evolução do mercado de Sistemas Fotovoltaicos Distribuídos no Brasil	p. 101

## LISTA DE TABELAS

### ARTIGO – CAPÍTULO 3

Tabela 01 – Relação de materiais estudados	p. 59
Tabela 02 – Caracterização dos domicílios no território nacional	p. 61
Tabela 03 – Domicílios no território nacional conectados à rede geral de esgoto	p. 61
Tabela 04 – Compilado de informações retiradas do PPH-2019	p. 64
Tabela 05 – Dados do PPH-2019 por classe social	p. 65
Tabela 06 – Consumo Final no Setor Residencial brasileiro por região	p. 66
Tabela 07 – Fontes energéticas a serem inseridas em biodigestores	p. 70
Tabela 08 – Potencial de produção de biogás por fonte	p. 70
Tabela 09 – Características adequadas aos sistemas de autoprodução energética	p. 71
Tabela 10 – Hipóteses adotadas para as estimativas de potencial de autoprodução Energética	p. 72
Tabela 11 – Marcos legais das políticas de Geração Distribuída	p. 80
Tabela 12 - Economia de Eletricidade proporcionada pelo Aquecimento Solar Residencial	p. 88
Tabela 13 – Potencial teórico de geração fotovoltaica residencial no Brasil para o Cenário 1	p. 89
Tabela 14 – Potencial teórico de geração fotovoltaica residencial no Brasil para o Cenário 2	p. 89
Tabela 15 – Número médio de módulos e área média necessária de telhados para sistemas FV residenciais para diferentes faixas de consumo	p. 90
Tabela 16 – Potencial teórico de Produção de Biogás no Brasil e o equivalente em GLP	p. 91

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGNIFICADOS**

ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABRAVA - Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento

ACL – Ambiente de Contratação Livre

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica

BEN - Balanço Energético Nacional

BNDES - Banco Nacional de Desenvolvimento

CCH - Parcela da Eletricidade Consumida por Chuveiros Elétricos

CED - Parcela de Coleta de Esgoto Doméstico

CMBG - Concentração Média de Biogás

CO<sub>2</sub> - Dióxido de carbono

COFINS - Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social

COP-21 - Conferência do Clima das Nações Unidas (2015)

COP-26 - Conferência do Clima das Nações Unidas (2021)

COVID-19 - Corona vírus

CPFL - Companhia Paulista de Força e Luz

CT&I - Ciência, Tecnologia & Informação

DRS - Recuperação Atrasada

DSIRE - Database of State Incentives for Renewables & Efficiency

EESAS - Economia de Eletricidade proporcionada por Sistemas de Aquecimento Solar

EGLP - Equivalente do Potencial de Produção de Biogás em GLP

ELETOBRAS - Centrais Elétricas Brasileiras S/A.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética

EUA - Estados Unidos da América

FAO - Food and Agriculture Organization of United Nations

FCP – Fator de casas próprias

FDS - Fator de Disponibilidade Solar

FDT - Fator de Disponibilidade de Telhado

FIT - Feed in Tariff

FV - Fotovoltaico

GD - Geração Distribuída

GEE - Gases de efeito estufa

GIZ - Agência de Cooperação Internacional da Alemanha

GLP - Gás liquefeito de petróleo

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

ICMS - Imposto sobre Operações relativas à Circulação de Mercadorias e sobre Prestações de Serviços de Transporte Interestadual, Intermunicipal e de Comunicação

IEA - International Energy Agency

IEMA - Instituto de Energia e Meio Ambiente

INMETRO - Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia

IPCC - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

IPTU - Imposto Predial e Territorial Urbano

ITRE - European Parliament Committee on Industry, Research and Energy

MCMV - Programa Minha Casa, Minha Vida

MEB - Matriz Energética Brasileira

MMA - Ministério do Meio Ambiente

MMD - Média de Moradores por Domicílio

MMGD - Micro e Mini Geração Distribuída

MMER - Média Mensal de Eletricidade Consumida em uma Residência

MS - Porcentagem de Matéria Seca no Excremento Humano

NBR - Norma Brasileira

NDB - Número de Domicílios Brasileiros

NDC - Contribuição Nacionalmente Determinada

OCDE - Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico

ODS - Objetivos do Desenvolvimento Sustentável da ONU

ONG - Organização Não-governamental

ONU - Organização das Nações Unidas

PASEP - Programa de Formação do Patrimônio do Servidor Público

PDE - Planos Decenais de Expansão de Energia

PDEH - Produção Diária de Excremento Humano

PERS - Programa de Energia Renovável Social

PFVR - Potencial de geração Fotovoltaica Residencial

PIB - Produto Interno Bruto

PIS - Programa Integração Social

PL - Projeto de Lei

PM2.5 – *Particulate Material* – Material Particulado de diâmetro inferior a 2,5 micrometros

PNE - Plano Nacional de Energia

PNHR - Programa Nacional de Habilitação Rural

PPBG - Potencial de Produção de Biogás

PPH - Pesquisa de Posses e Hábitos de Uso de Equipamentos Elétricos na Classe Residencial

PROCEL - Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica

ProGD - Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica

PROINFRA - Pró-Reitoria de Infraestrutura

PV-T – Fotovoltaico - Térmico

RED - Recursos Energéticos Distribuídos

REIDI - Regime Especial de Incentivos para o Desenvolvimento de Infraestrutura

REN - Relatório Global de Energias Renováveis

SAS - Sistemas de Aquecimento Solar

SCEE - Sistema de Compensação de Energia Elétrica

SDS - Desenvolvimento Sustentável

SEIA - Solar Energy Industries Association

SFV - Sistemas fotovoltaico

TUSD - Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição

UE - União Européia

UHE - Usina Hidrelétrica

WEO - *World Energy Outlook* - Panorama Mundial de Energia

WEC - *World Energy Council* - Conselho Mundial de Energia

WMO - *World Meteorological Organization* - Organização Meteorológica Mundial

## SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO GERAL	17
1. Introdução do tema da pesquisa	17
2. Objetivos Gerais	18
2.1. Objetivos Específicos	18
3. Metodologia Geral da Dissertação	19
3.1. Estrutura da Dissertação	20
CAPÍTULO 2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	22
1. O conceito de energia e sistema energético	22
1.1. Intensidade energética	22
1.2. Panorama energético mundial	25
1.3. Mudanças climáticas e energia residencial	29
2. Matriz energética no Mundo e no Brasil	30
3. A urbanização no Brasil e seus impactos ambientais	33
4. Sistemas energéticos residenciais brasileiros	36
5. Planejamento Energético	38
5.1. Plano Nacional de Energia	39
5.2. Plano Decenal de Energia	41
6. Geração Distribuída (GD)	41
6.1. Políticas públicas e legislação vigente para a GD no Brasil	43
6.2. Políticas públicas e legislação vigente para a GD no mundo	46
7. Tecnologias disponíveis para a autogeração energética residencial	48
7.1. Biodigestão	49
7.1.1. Biomassa	49
7.1.2. Biogás	49
7.1.3. Biodigestor de escala residencial	50

7.2. Energia Solar	50
7.2.1. Energia Solar Térmica	50
7.2.2. Energia Solar Fotovoltaica	51
7.2.3. Sistemas solares híbridos	52
7.3. Sistema híbrido: solar – biodigestão	53
<b>CAPÍTULO 3 – ARTIGO - Potencial energético do setor residencial brasileiro – avaliação do cenário atual e alternativas para um futuro de autogeração sustentável</b>	<b>55</b>
1. Introdução	55
2. Materiais e métodos	57
3. Caracterização da demanda energética doméstica no Brasil	60
3.1. Dados selecionados	60
4. Levantamento de recursos energéticos disponíveis nas residências brasileiras	67
5. Estimativa do potencial energético do setor residencial brasileiro	71
5.1. Potencial de economia de eletricidade e de aquecimento solar de água das residências brasileiras	72
5.2. Potencial de geração fotovoltaica das residências brasileiras	74
5.3. Potencial de produção de biogás para cocção das residências brasileiras	76
6. Incentivos e regulamentação atual da autogeração sustentável no Brasil	77
6.1. Aquecimento Solar de água	78
6.2. Geração Fotovoltaica de eletricidade	78
6.3. Produção de biogás para cocção	81
7. Mudanças climáticas como impulsionadoras de residências energeticamente sustentáveis	82
8. Resultados e discussões	84
8.1. Análises das informações	84
8.1.1. Dados relacionados ao consumo residencial de energia no Brasil	84
8.1.2. Avaliação dos recursos disponíveis nas moradias brasileiras	86
8.2. Resultados das estimativas dos potenciais energéticos do setor residencial	87



8.2.1.	Aproveitamento energético de SAS	87
8.2.2.	Potencial de geração Fotovoltaica Residencial	88
8.2.3.	Potencial de produção residencial de biogás	91
8.3.	Perfil das moradias a adotarem a autogeração	92
8.4.	Impactos da autoprodução residencial para o setor público e energético	95
8.5.	O planejamento na expansão da autoprodução residencial	97
9.	Conclusões	106
	REFERÊNCIAS	107
	CAPÍTULO 4 – CONSIDERAÇÕES FINAIS	116
1.	Contribuições e limitações deste trabalho	116
2.	Trabalhos futuros	116
3.	Conclusões gerais da dissertação	117
	REFERÊNCIAS	118

## **CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO GERAL**

### **1. Introdução do tema da pesquisa**

No último século, foram notáveis o aumento populacional urbano e o grande desenvolvimento tecnológico para promover o conforto humano (ONU, 2019). Porém, a atividade humana, que abrange o uso de automóveis, as residências unifamiliares, o espraiamento urbano e a consequente produção de resíduos, evidentemente agrava as mudanças climáticas e afeta o meio ambiente (IPCC, 2021), em escalas cada vez mais impossíveis de se ignorar.

Autores relacionam o nível de desenvolvimento e qualidade de vida da sociedade com seu nível de consumo energético, de modo que o desenvolvimento e a qualidade de vida dependem de maiores índices de consumo de energia, em geral (NADIMI & TOKMATSU, 2018; PASTEN & SANTAMARINA, 2012). Por outro lado, este mesmo setor energético, em sua ascensão, é responsável atualmente por ao menos dois terços das emissões de GEE mundiais (IEA, 2016), além de degradar o ambiente em outros sentidos, e ainda consumir recursos naturais em diferentes níveis, a depender da matriz e política energética de cada país (SHARIF et al., 2020; SINHA & SHAHBAZ, 2018). Principalmente por isso, a utilização de fontes renováveis e de menor impacto ambiental na produção energética aparecem cada vez mais como uma alternativa global relevante frente à emergência climática (IPCC, 2019). É nesse sentido que os setores residencial e comercial – que representam 11,5% das emissões globais de GEE (IPCC 2014) – podem ser agentes importantes na iminente transição do planeta para um cenário necessariamente mais sustentável.

Pelo mundo, são diversos os cenários energéticos, econômicos e sociais, e cada país tem sua particularidade quanto ao perfil de consumo de energia de seu setor residencial e quanto às fontes de energia disponíveis. No Brasil, segundo dados do Balanço Energético Nacional de 2020, as residências consomem 10,3% da energia do país – cerca de 26,7 Mtep (BEN, 2020). Particularmente, este foi o setor que mais contribuiu para o crescimento do consumo de eletricidade em 2018, com um aumento de 1,8 TWh (+1,3%) (BEN, 2019). Além disso, 5,5% da energia produzida no país se dissipa em perdas – para as quais a distribuição para o setor residencial representa um grande contribuinte.

Apesar destes percentuais significarem uma parte relativamente baixa do consumo total, o setor residencial envolve a participação direta da população que pode fazer escolhas que reduzam os impactos ambientais de sua pegada energética (quantidade de energia consumida). Somado a isso, o fato da autoprodução representar uma alternativa para a redução da dependência da rede elétrica local como uma oportunidade economicamente viável à grande parte das residências, tem feito a geração distribuída crescer mundialmente.

Dentro desta temática, esta pesquisa trabalha com dados da bibliografia de sistemas de utilização doméstica de energia solar e do biogás, considerando a legislação vigente no país, as tecnologias existentes e a disponibilidade de recursos naturais locais. Os resultados podem orientar a adoção de legislação pertinente, sua utilização e fomentos a partir de planos diretores urbano/rurais no Brasil.

## 2. Objetivos Gerais

Este trabalho pretende (i) estudar o panorama atual dos sistemas energéticos residenciais do país e (ii) avaliar o potencial técnico da aplicação de microssistemas energéticos híbridos com aproveitamento das energias solar térmica, fotovoltaica e do biogás proveniente de resíduos orgânicos e esgoto em busca da sustentabilidade energética residencial. Também são feitas algumas considerações sobre o que se notou em relação a impactos de curto, médio e longo prazos no planejamento territorial – questões estas de suma importância, que devem ser aprofundadas futuramente. Portanto, o objetivo geral da pesquisa consiste em uma avaliação do potencial de geração de energia em nível doméstico como uma alternativa para a redução do consumo energético do setor residencial do sistema nacional. A ideia é concluir quais perfis de moradias podem gerar e aproveitar energia de forma sustentável, e quais os esforços governamentais necessários para essa conquista.

### 2.1. Objetivos Específicos

Para viabilizar a persecução do objetivo geral, a pesquisa precisou realizar algumas tarefas que, metodologicamente, podem ser entendidas como os seus objetivos específicos. Neste sentido, foi necessário: i) organizar dados oficiais de moradias rurais e urbanas de cada uma das cinco

regiões geopolíticas do país e analisar aspectos energéticos de consumo; ii) estimar o potencial teórico de geração e aproveitamento energético do setor residencial, incluindo as discrepâncias entre as classes sociais e os tipos de moradia relacionados; iii) analisar as políticas públicas de incentivo às tecnologias consideradas viáveis às moradias brasileiras – aquecimento solar de água, geração fotovoltaica de eletricidade e produção de biogás a partir de esgoto doméstico; iv) prever os impactos que a autoprodução residencial pode trazer ao setor público e energético; e v) propor políticas de incentivo às alternativas de autogeração sustentável, e novas ações no âmbito do planejamento energético e territorial, considerando-as grandes responsáveis pelo atingimento de uma ampla utilização das tecnologias de aproveitamento energético residencial nas moradias do país.

### 3. Metodologia Geral da Dissertação

A situação-problema da pesquisa se dá basicamente dentro da relação entre o consumo energético residencial e a capacidade de produção desta energia pelas próprias residências. Por se tratar de uma primeira aproximação com o tema, a pesquisa tem um teor essencialmente exploratório. Busca-se explicitar a possibilidade de a autoprodução residencial representar uma alternativa interessante em vários sentidos.

Metodologicamente, este trabalho, teórico-quantitativo, é constituído por duas etapas, complementares porém independentes entre si. Na primeira dessas etapas, uma revisão de bibliografia especializada buscou se aproximar, captar e compreender conceitos gerais e fundamentais ao subsequente desenvolvimento da pesquisa. Ou seja, conceitos e fundamentos básicos a partir dos quais se discute a temática da produção de energia residencial, ou, sem os quais não se pode discuti-la.

Uma vez realizada esta tarefa – isto é, uma vez apreendidas as direções e possibilidades dadas pelas discussões e obras científicas dentro da temática da produção residencial de energia – a segunda etapa da pesquisa tratou, concomitantemente, (i) da análise do potencial teórico de autoprodução energética do setor residencial brasileiro e (ii) da construção, a partir de uma revisão documental, de um panorama atual das políticas públicas de incentivo aos aproveitamentos domésticos de energia. Somadas, esta análise do potencial teórico e o panorama das políticas públicas permitiram (iii) o apontamento de algumas diretrizes e

alternativas para a ampliação da energia residencial na matriz energética brasileira, como uma solução, inclusive, ambiental.

### 3.1. Estrutura da Dissertação

O trabalho é composto de temas importantes na busca pelo planejamento energético considerando sistemas residenciais brasileiros sustentáveis. A pesquisa está organizada da maneira apresentada abaixo e na Figura 01 a seguir:

- O primeiro capítulo apresenta e introduz o tema do trabalho. Contém uma introdução geral, objetivo geral e específicos, a metodologia geral da dissertação e essa sessão, com a apresentação da organização da dissertação.
- O capítulo 2 é constituído pela revisão da literatura em que todos os temas relacionados à pesquisa são abordados, de modo a contextualizar o trabalho com base na bibliografia existente.
- A terceira etapa do trabalho se apresenta no capítulo 3, em formato de artigo a ser submetido em periódico selecionado da área de concentração do estudo. O desenvolvimento e resultados estão contidos nesse capítulo. Por possuir essa estrutura independente em relação ao restante da dissertação, conta com os elementos introdutórios, metodologia e referências próprios, com algumas informações já contidas nas etapas iniciais da pesquisa.
- O capítulo 4 apresenta a etapa final, em que as considerações finais da pesquisa, perspectivas futuras para o tema abordado e contribuições do trabalho são apresentados.
- As referências bibliográficas encontram-se ao final do trabalho.

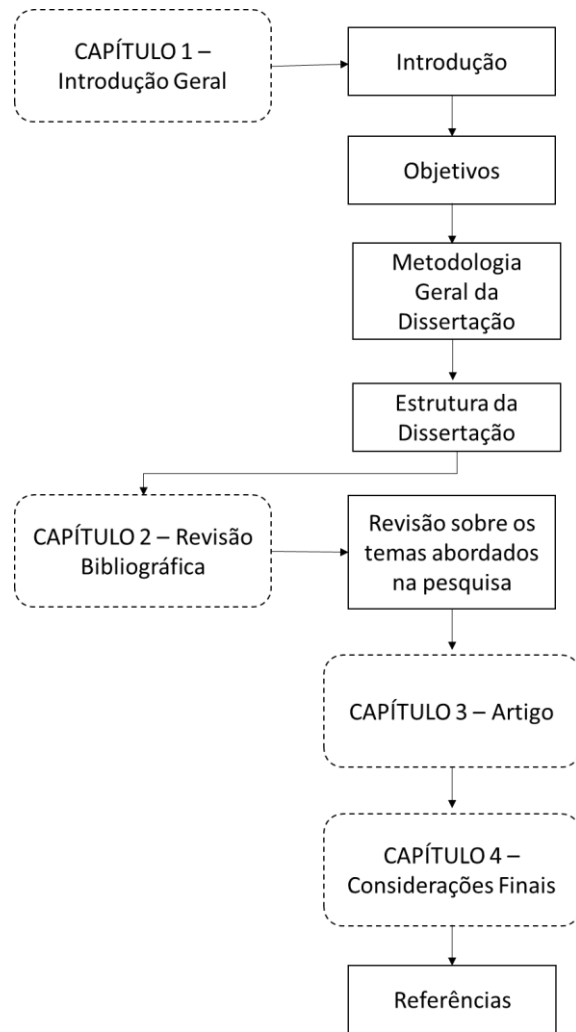


Figura 01 – Fluxograma da estrutura da dissertação.

## CAPÍTULO 2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 1. O conceito de energia e sistema energético

Desde o século IV A.C., Aristóteles define energia (“energeia”) como uma realidade em movimento. Atualmente, o conceito mais difundido é de que “energia é a medida da capacidade de efetuar trabalho”, que no aspecto físico é parcialmente correto, uma vez que se aplica apenas a formas de energia conversíveis em outras como a mecânica e a elétrica. Quando a definição passa a abordar a energia térmica ou luminosa, no entanto, a conversão em trabalho não necessariamente se encaixa nos termos. Assim sendo, a proposta de conceito mais adequada e abrangente para energia vem de Maxwell, em 1872: “energia é aquilo que permite uma mudança na configuração de um sistema, em oposição a uma força que resiste à esta mudança”. Ou seja, para realizarmos qualquer atividade física ou intelectual, alterar o estado de um sistema – seja de frio para quente ou de escuro para iluminar – a energia é desprendida. O autor ainda observa que, com base em conceitos da termodinâmica, sistema é como é denominada qualquer região de interesse delimitada por uma fronteira física ou teórica. (NOGUEIRA, 2001)

Bajay (1989) coloca o sistema energético como um sistema social, com atores individuais e institucionais que tomam constantemente numerosas decisões. Portanto, trata-se de um sistema dinâmico, que funciona sob condições de incerteza. O sistema energético, como todos os sociais, é considerado um sistema aberto que funciona dentro de um meio externo que o condiciona fortemente. O autor relaciona o meio externo ao sistema energético em três partes: a sociedade em seu conjunto, o sistema de relações internacionais e o meio ambiente.

#### 1.1. Intensidade energética

As discussões sobre eficiência e sustentabilidade energéticas são centrais dentro das políticas e literatura especializadas, dado o espectro global da urgência climática, e a correlata necessidade da redução dos níveis gerais de impactos do consumo energético pelo mundo. Dentro destas discussões está o conceito e a ideia da intensidade energética. A intensidade energética de um país é a relação entre o seu consumo energético total e o seu Produto Interno Bruto – PIB – sendo de grande significância na medida em que envolve o balanceamento das necessidades do

ambiente com o desenvolvimento sustentável. Neste sentido, a busca pela redução dos índices dessa divisão se torna cada vez mais urgente no contexto contemporâneo, e a sua tendência de queda durante a última década tem motivado pesquisadores a investigar os fatores chave concernentes à intensidade energética, em nível global e nacional.

Azghaliyeva et al. (2020) lembram que a eficiência energética tem sido cada vez mais defendida como o “principal combustível” (*first fuel*) – em uma alusão um tanto sarcástica a quão significativas seriam as enormes quantidades de energia poupada ou potencialmente não consumida, frente a todas as outras convencionais fontes de energia, como óleo cru, carvão ou gás natural – e pode contribuir em melhorar diversos aspectos da vida social, como a segurança energética, a competitividade econômica, a qualidade do ar, a saúde pública, além de diminuir as emissões de gases de efeito estufa (IEA, 2017). É percebendo este contexto que a maior parte da comunidade mundial, isto é, todos os países da OCDE e a maioria dos países emergentes, tem se preocupado e agido diretamente na tentativa de diminuir seus índices de intensidade energética. Isto porque a intensidade energética pode ser bastante útil como uma medida de eficiência energética no nível macro, evoluindo de acordo com a estrutura econômica do país, e das suas respectivas políticas energéticas.

Neste sentido, Azghaliyeva et al. (2020) investigam justamente a eficácia que as políticas energéticas de um país têm em melhorar a intensidade energética a nível nacional, ou seja, quais as determinantes da intensidade energética de um país, na prática. Os autores encontram que a redução da intensidade energética é importante para o crescimento da economia sustentável, especialmente em países de fora da OCDE, onde o crescimento da demanda por energia é alto. A partir do cruzamento de dados de 44 países, entre os anos de 1990 e 2016, o que se encontrou é que tanto o PIB quanto os preços da energia na economia apresentam uma associação negativa com a intensidade energética. Os resultados empíricos provêm evidências de cinco instrumentos políticos efetivos em reduzir a intensidade energética – padrões de energia e rotulagem, investimentos diretos do governo, planejamento estratégico e suporte, medidas fiscais e impostos, e subvenções e subsídios – constituindo direcionadores significantes da melhoria da intensidade energética em toda a economia.

Uma observação importante é a de que a relevância estatística deste efeito sobre a intensidade energética existe apenas para países de alta renda e ao se proceder de maneira efetivamente durável, regular e consistente estas cinco frentes de política energética. Ao mesmo tempo, por mais que estas correlações – isto é, o impacto destas políticas de eficiência energética nas



mudanças de intensidades energética – sejam insignificantes para os países de renda média, isso não deve ser interpretado como sinal de que estas políticas são absolutamente ineficazes e inúteis nestes contextos.

É consenso, tanto em países desenvolvidos quanto em desenvolvimento, que as partículas finas, de até 2,5 micrometros – as PM2.5 – constituem um fator bastante contribuinte à poluição do ar, com claros impactos na visibilidade, economia e saúde humana, e por isso, os fatores que levam às concentrações de PM2.5 devem ser melhor entendidos, e políticas apropriadas de controle da poluição devem ser empenhadas, sendo a intensidade energética uma forte estratégia de mitigação neste sentido. Chen (et al., 2018) se debruçam sobre as determinantes das concentrações de PM2.5. Segundo os autores, apesar do fato de a relação entre desenvolvimento socioeconômico e concentrações de PM2.5 ser objeto de atenção científica multidisciplinar nos últimos anos, as conexões causais entre concentrações de PM2.5 e fatores como consumo de energia, intensidade energética, crescimento econômico, e urbanização em diferentes contextos de países permanecem pouco exploradas. A partir de dados de 1998 a 2014, os resultados obtidos apontam no sentido da integração de relações entre as concentrações de PM2.5 e as variáveis estudadas, para qualquer que seja o nível de desenvolvimento econômico do país – o consumo de energia, intensidade energética, crescimento econômico e urbanização levam ao aumento das concentrações de PM2.5 no longo prazo (CHEN, et al., 2018).

Já a queda na intensidade energética global, percebida significativamente nas duas últimas décadas, é abordada por Chen, Huang e Zheng (2019). Segundo os autores, isto pode ser creditado a um fator talvez inesperado – o desenvolvimento do setor financeiro. Na verdade, o estudo revela que o desenvolvimento financeiro exerce um forte efeito negativo sobre a intensidade energética em países não participantes da OCDE. Entretanto, para os países da OCDE, o desenvolvimento financeiro apresenta um impacto muitíssimo limitado na redução energética, apontando para a maturidade dos sistemas financeiros destes países, de economias já consolidadas. De todo modo, os resultados estimados são fortes em vários sentidos. Revelou-se um relação em formato de U entre o desenvolvimento financeiro e a intensidade energética em países em desenvolvimento, sugerindo-se que a influência do desenvolvimento financeiro na redução da intensidade energética pode acontecer através do progresso e inovação tecnológicos, e que o estímulo ao desenvolvimento financeiro é um meio eficiente de reduzir a intensidade energética nacional, devendo, as políticas específicas de longo prazo, ser desenhadas para se garantir o equilíbrio na troca entre desenvolvimento financeiro, crescimento econômico e intensidade energética. De acordo com dados disponíveis no site da IEA (2017),

a intensidade energética mundial diminuiu em 12,6% entre 2010 e 2016, refletindo esforços no sentido do crescimento econômico sustentável e melhorias ao meio ambiente. Desde 1990, a intensidade energética global diminuiu sob uma média de 1,2% por ano, sendo particularmente mais rápida, esta queda, em países de baixa ou média renda, onde a taxa de queda foi de 1,8% ao ano. Melhorias na eficiência energética exercem um impacto positivo sobre a proteção ambiental e sobre a poupança de custos – a redução da intensidade energética puxou para baixo as emissões de gases de efeito estufa. Crescimento econômico, tecnologia, efeitos estruturais, e trocas internacionais são largamente aceitos como os fatores que mais têm contribuído para o declínio da intensidade energética desde os anos 90. Mas, segundo Acheampong (2019), o desenvolvimento financeiro é quem tem exercido um papel fundamental para se atingir uma intensidade energética ideal. De acordo com Bernardini e Galli (1993), a intensidade energética cresce na medida em que economia cresce, durante períodos de industrialização. Nesses períodos, o consumo de energia cresce de maneira rápida, para apoiar a necessidade de construção de infraestrutura. No próximo estágio, o progresso tecnológico advindo junto ao crescimento econômico contribui para aumentar a eficiência energética e o uso de materiais economizadores de energia. Essa relação em forma de U invertido entre intensidade energética e crescimento econômico tem sido verificada também por outros estudos (GALLI, 1998; MEDLOCK & SOLIGO, 2001). Porém, alguns pesquisadores têm proposto uma relação negativa entre intensidade energética e crescimento econômico (LESCAROUX, 2010). Somado a isso, a redução da intensidade energética global pode ser alcançada através de avanços nas tecnologias de eficiência energética, considerando que inovações tecnológicas melhorem a eficiência energética (VOIGT et al., 2014; WARD et al., 2017). Sun (2002) encontra que a principal razão para a intensidade energética ter caído nos países da OCDE entre 1971 e 1998 foi o progresso tecnológico. Teoricamente, avanços na tecnologia podem fazer cair a intensidade energética em três modos: melhorias em eficiência energética, otimização da estrutura energética, e progresso econômico. Mas embora muitos estudos foquem em fatores que influenciam a intensidade energética em diferentes níveis regionais, ainda faltam pesquisas especializadas na existência de uma relação entre desenvolvimento financeiro e intensidade energética – o que a literatura sugere é que a intensidade energética diminuiu na medida em que melhora a renda de um país (BERNARDINI & GALLI, 1993; SADORSKY, 2013).

## 1.2. Panorama energético mundial

Sendo o segundo maior em emissões de gases de efeito estufa (GEE), frente à emergência climática mundial, o setor energético precisa urgentemente passar por uma descarbonização (IEA, 2016). O World Energy Outlook (WEO - Perspectivas Globais de Energia) (IEA, 2020) reconhece a necessidade da inclusão de medidas para aumentar a integração das diversas energias renováveis, da ampliação significativa na eficiência energética e da redução das emissões carbono dos chamados usos finais, como o GLP e a combustão automotiva. Para isso, o rearranjo das emissões de carbono no setor energético buscando a limitação do aumento de temperatura global para 2°C provavelmente exigiria que as emissões caíssem para zero em algum momento entre 2040 e 2060, mesmo com tecnologias de remoção de carbono. Além das metas de emissões, o Acordo de Paris firma o compromisso de seus signatários em universalizar o acesso à energia até 2030.

As projeções e análises para o setor de energia são feitas considerando diferentes cenários mundiais. O sumário executivo da versão mais atualizada do WEO (IEA, 2020) já considera em suas estimativas as alterações decorrentes da pandemia do COVID-19, uma vez que esse evento foi o que mais afetou a economia e, conseqüentemente, o setor energético na história recente e que a crise ainda tem desfechos incertos. As estimativas para 2020 foram de uma redução de 5% na demanda global de energia, 7% nas emissões de CO<sub>2</sub> relacionadas ao setor e de 18% de queda no investimento em energia. A IEA – *International Energy Agency* - considera que nos próximos 10 anos pode haver um retrocesso quanto aos esforços para a transição do sistema energético para uma matriz mais sustentável e resiliente, bem como a pandemia pode ser um catalizador e acelerar o ritmo da mudança.

A COVID-19 causou uma significativa redução na demanda global por carvão, que não deve voltar aos níveis pré-crise e deve ter sua participação na matriz energética mundial abaixo de 20% em 2040 pela primeira vez desde a Revolução Industrial. Contudo, a IEA (2020) ressalta que sem pressão governamental regulatória, o declínio do petróleo não será notável e que a recuperação da crise não será sustentável caso o foco das nações seja estritamente econômico. O sumário executivo do WEO (IEA, 2020) conclui que atingir a neutralidade em emissões de CO<sub>2</sub> é um objetivo que exigirá empenho sem precedentes dos governos, empresas de energia, investidores e da população. Apesar disso, a Agência, em sua análise detalhada, concluiu que caso as emissões da infraestrutura energética existente se mantiverem as mesmas os objetivos climáticos serão inalcançáveis independente dos esforços mundiais: a elevação da temperatura mundial será de, no mínimo, 1,65°C. Ademais, a transformação do setor energético depende de

mudanças massivas nos setores industriais, com foco na indústria do aço e do cimento, e de transportes – principalmente o de cargas e longas distâncias (IEA, 2020).

Em resumo, os cenários considerados para as estimativas energéticas (IEA, 2020) são apresentados no Quadro 01:

<b>Cenário</b>	<b>Crise COVID-19</b>	<b>Economia global</b>	<b>Setor energético</b>
Recuperação Atrasada (DRS)	Controlada gradualmente em 2021	Retorna aos níveis pré-crise em 2023	Demanda global retorna para seu nível pré-crise em 2025
Desenvolvimento Sustentável (SDS)	Controlada gradualmente em 2021	Retorna aos níveis pré-crise em 2021	Aumento de políticas e investimento em energia limpa: sistema de energia no caminho certo para alcançar os objetivos de energia sustentável na íntegra (Acordo de Paris, objetivos de acesso à energia e de qualidade do ar)
Caso de Zero Emissões Líquidas até 2050 (NZE2050)	Inclui a primeira modelagem detalhada da IEA do que seria necessário nos próximos dez anos para colocar as emissões globais de CO2 no rumo para atingir zero emissões líquidas até 2050. No SDS essa meta seria atingida em 2070.		

Quadro 01 – Cenários futuros e considerações para o setor energético. Fonte: IEA 2020.

Independente do cenário considerado, a energia solar tem o maior crescimento dentre as fontes de eletricidade, uma vez que os custos estão cada vez mais baixos e a abundância da irradiação solar são evidentes em grande parte do planeta. No entanto, a ampla utilização de sistemas fotovoltaicos demandará crescimento e mudanças na infraestrutura dos sistemas de transmissão e distribuição de cerca de 80% acima do aumento dos últimos 10 anos até 2030. Esse fator, somado ao fato de que diversos provedores de energia tiveram sua economia prejudicada em

decorrência da pandemia, coloca as redes elétricas como o elo fraco da transformação do setor elétrico, segundo a IEA (2020).

Países como Alemanha, China, Espanha, Holanda, Índia, e Portugal desenvolvem e incentivam programas de utilização de energias renováveis para cocção ou GD (Geração Distribuída) por meio de políticas públicas que tornam seus sistemas energéticos residenciais representativos perante o panorama mundial. Castro (2015) levantou as formas de incentivos que os países que mais utilizam energia fotovoltaica distribuída praticam por meio de leis e políticas públicas que deixam claro que a sustentabilidade energética residencial é fruto do envolvimento e participação dos estados e municípios, além da intenção dos cidadãos.

Jefferson (2018) avalia as políticas e tecnologias de geração de energia com baixa emissão de carbono ao redor do mundo. O autor elenca barreiras e desafios da transição energética, colocando aspectos práticos, econômicos e ecológicos da utilização de fontes renováveis, com destaque para biomassa, solar e eólica. Em seu estudo crítico, o autor conclui que a transição energética em busca de uma economia global de baixo carbono será mais lenta e custosa do que entusiastas simplificam. As soluções, a nível mundial, precisam sim envolver governos, planejadores e a população, mas devem considerar toda a complexidade que envolve os sistemas energéticos.

Adiada por mais de um ano em decorrência da pandemia, a COP 26 ocorreu em 2021 e produziu o Pacto Climático de Glasgow que, segundo o chefe das Nações Unidas – António Guterres – representa um passo importante, porém não suficiente para limitar o aquecimento global a 1,5°C (ONU NEWS, 2021). Considerada uma das maiores conquistas do acordo, a aprovação das regras do Artigo 6 do Acordo de Paris trata do mercado de carbono internacional, que pode começar a operar com 320 milhões de toneladas (WRI, 2021). Também houveram mais de 190 países que pactuaram em reduzir gradualmente a utilização de carvão mineral nas matrizes energéticas até 2050 e mais de 100 países – inclusive o Brasil – se comprometeram em reduzir em 30% as emissões de metano na atmosfera até 2030, enquanto a principal emissora do gás – China – não assumiu tal compromisso (SÃO PAULO, 2021). Além disso, 120 países representando 90% das florestas do planeta – novamente incluindo o Brasil – compactuaram em zerar o desmatamento até 2030 (ONU NEWS, 2021). No aspecto econômico, na COP 26 houve uma cobrança de que os países desenvolvidos, que falharam em aportar 100 bilhões de dólares ao ano desde 2020 no combate as mudanças climáticas apresentem metas de financiamento mais agressivas na próxima conferência (WRI, 2021).

### 1.3. Mudanças climáticas e energia residencial

Rodrigues, Feres e Matos (2009) analisam o perfil de consumo energético residencial e sua relação com o clima, levantando que as principais demandas do setor são relacionadas ao conforto térmico e que o aquecimento global deve agravar ainda mais esse caso. A partir de modelos e simulações dinâmicas, os autores estimam que o aumento da temperatura global até 2069 causará impactos determinantes no consumo de energia nas residências brasileiras. O trabalho é relevante na medida em que explana a importância de considerar as variáveis climáticas nas projeções energéticas do futuro, bem como cuidar para que o setor energético, por si só, não seja um fator de agravamento no aumento de temperatura do planeta.

Enquanto a transição energética se faz necessária como forma de enfrentamento às mudanças climáticas, conceitos como “justiça energética”, “justiça ambiental” e “transição justa” surgem (McCauley e Heffron, 2018) com a narrativa de que com as crises climáticas, tanto o acesso à moradia quanto a energia são pontos críticos para a população mais vulnerável socialmente. Os autores enfatizam que o planejamento territorial e energético deve considerar, além do já iminente aquecimento terrestre e suas consequências, a necessidade por uma sociedade mais justa em que as soluções devam ser inclusivas e democráticas. Ritchie (2019a) publicou estimativas mundiais de 2016, em que cerca de 1 bilhão de pessoas ainda não possuía acesso à energia elétrica e 3,03 bilhões de pessoas sequer têm acesso a combustíveis para a cocção que não emitem gases tóxicos à humanidade. Essas pessoas concentram-se principalmente nos continentes africano e asiático. No Brasil, são 9,16 milhões de pessoas que cozinham com lenha ou outro combustível sólido, que quando queimados geram gases que inalados causam diversas doenças respiratórias e aumentam a mortalidade da população (RITCHIE, 2019). Já com relação ao acesso à energia, o Instituto de Energia e Meio Ambiente (IEMA, 2019), estima que mesmo com os esforços governamentais do Programa Luz para Todos, em 2017 ainda havia 1,2 milhões de brasileiros sem acesso à eletricidade. Além destes, são muitos os que vivem em situações precárias tanto de moradia, quanto de cocção e de eletrificação (IBGE, 2010).

Jefferson (2018), em sua análise das políticas para energias renováveis e de baixa emissão de carbono, coloca a questão da intensidade energética tal qual Smil (2010), como uma questão chave para a transição para uma economia e matriz energética de baixo carbono. Uma vez que o agravamento da crise climática afetará as condições de moradia e energia bem como a indústria de modo geral, Jefferson (2018) e Smil (2010) concluem que a transição será mais

lenta e cara que alguns cientistas chamados otimistas dizem ser. A Organização Meteorológica Mundial (WMO, 2020) publicou um relatório expondo as consequências do aquecimento global, em que fica explícito que a população de baixa renda, que já sofre com a fome, condições precárias de moradia e pouco acesso à energia, será ainda mais afetada com os eventos climáticos. A WMO se porta também preocupada com o alcance de Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU na chamada agenda 2030, visto que a fome voltou a crescer no mundo em 2018 (FAO, 2018) e o “Acesso à Energia Limpa e Acessível” é um objetivo relativamente secundário perante o “Fome Zero” e “Erradicação da Pobreza”. Reiterando a afirmação acima, REN21 (2020) em seu relatório sobre energias renováveis, comentou a declaração da ONU em sua revisão anual sobre os ODSs de que dificilmente a matriz energética será renovável com acesso universal e eficiente de energia até 2030 sem que os esforços mundiais sejam amplamente aumentados.

Portanto, as conclusões dos trabalhos de Jefferson (2018) e de McCauley e Heffron (2018) são complementares, considerando que os estudos e o planejamento territorial devem buscar a sustentabilidade na diminuição da intensidade energética da população com poder aquisitivo e olhando para a justiça social, no que diz respeito a universalização do direito à moradia e à energia.

## 2. Matriz energética no Mundo e no Brasil

Segundo o Relatório Global de Energias Renováveis (REN21, 2020) estima-se que em 2018 os combustíveis fósseis ainda representavam 79,9% do total de energia de uso final consumida no mundo, enquanto as chamadas “renováveis modernas” – biocombustíveis, hidroeletricidade, eólica, solar e biomassa (exceto lenha e carvão vegetal) – possuem a participação de apenas 11% do mix energético mundial. Ritchei e Roser (2020) em sua publicação sobre o panorama energético mundial, constatam que o consumo energético continua subindo, bem como a utilização de combustíveis fósseis, ano a ano. Para ilustrar o problema, tem-se da REN21 (2020) que o crescimento das fontes renováveis modernas foi de 21,5% entre 2013 e 2018, algo positivo mas que representa menos de um terço do crescimento da demanda.

O setor da indústria e do transporte são os de maior consumo energético e estes dependem de combustíveis de origem fóssil e, conseqüente, alta emissão de GEE (IEA, 2016; REN21, 2020).

A REN21, identifica como causas da baixa penetração das fontes renováveis no uso final de energia na indústria o fato da principal demanda nesse setor ser energia na forma de calor e, no setor de transportes, a falta de incentivos e políticas públicas sustentáveis. Mundialmente, ainda é grande o subsídio aos derivados de petróleo e baixo o custo da energia do carvão mineral – principais combustíveis fósseis utilizados atualmente. Apesar das políticas de apoio a uma matriz energética renovável estarem crescendo ano a ano, o órgão reconhece que num sistema que visa o lucro, a produção e logística de materiais foca em reduzir os custos e as fontes renováveis deixam de ser atraentes sem legislações que assim as tornem (REN21, 2020).

Se comparada ao restante do mundo, a matriz energética brasileira (MEB) tem uma parcela significativamente maior de energias renováveis em sua composição. Ritchie e Roser (2020) representam graficamente na Figura 02 a parcela de energia primária de fontes de baixo carbono no ano de 2019 no mundo. Os autores definem energia de baixo carbono como a soma das fontes nucleares e renováveis, sendo estas energia hidrelétrica, solar, eólica, geotérmica, das ondas e das marés e bioenergia. Os biocombustíveis tradicionais não estão incluídos na ilustração dos autores.

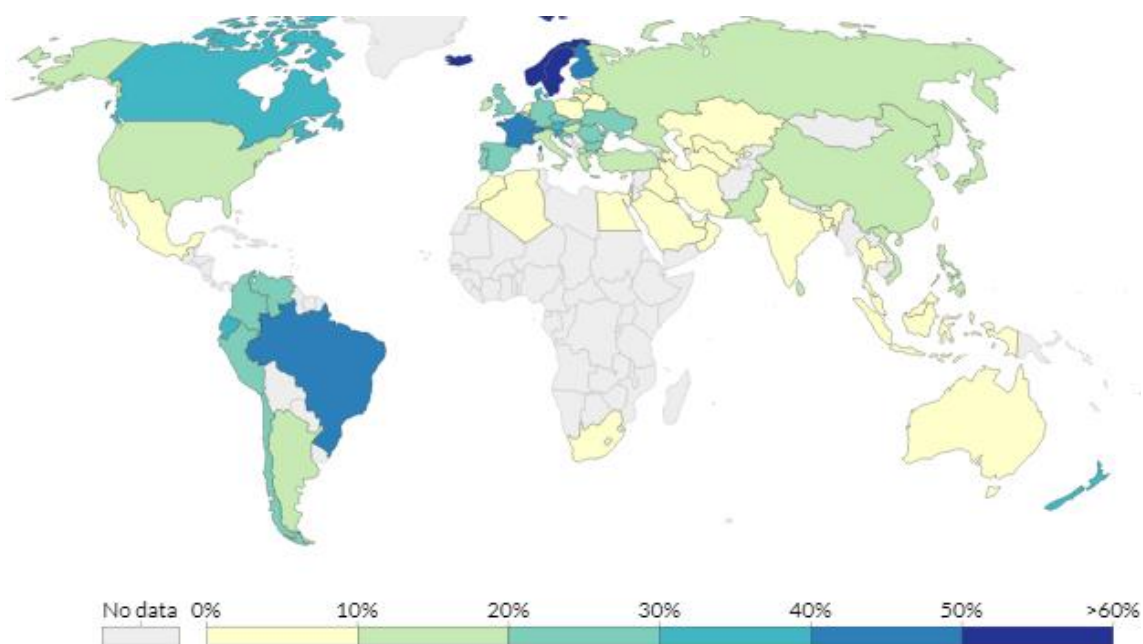


Figura 02 – Parcela de energia primária de fontes de baixo carbono no mundo em 2019. Fonte: Ritchie e Roser (2020)

Andrade e Mattei (2013) atribuem esse fato principalmente à crise do petróleo dos anos 1970 e a abundância de recursos hídricos do território nacional. De acordo com o Ministério de Minas e Energia (MME), a oferta de energia interna em 2019 teve 53,9% de base não renovável e 46,1% em fontes renováveis enquanto mundialmente falando, apenas 13,9% da energia



utilizada provém de fontes renováveis. A Empresa de Pesquisa Energética (EPE) também aponta para um índice de emissões de CO<sub>2</sub> bem abaixo das mundiais para o país: 1,38 tCO<sub>2</sub>/tep comparados a 2,32 tCO<sub>2</sub>/tep mundial. Os dados aparentemente positivos nessa comparação se devem à matriz elétrica ser baseada principalmente na hidroeletricidade e ao amplo uso de etanol como combustível. (BRASIL, 2020a).

Ainda assim, a oferta e consumo da energia no país estão distantes de um modelo energético ideal e sustentável de fato. Bermann (2007) levantou impactos sociais e ambientais relacionados às hidrelétricas, que vão desde a sabida alteração no regime hidrológico dos rios e da qualidade da água, até a emissão de GEE (principalmente metano) consequente da decomposição da cobertura vegetal submersa nos reservatórios (ROSA et. al., 2008). Outro ponto de destaque na insustentabilidade do nosso balanço energético nacional (BEN) é o setor de transportes, que baseado no modal rodoviário, é o maior consumidor de combustíveis fósseis no país (ver Figura 03) e responsável por 45,4% das emissões de Gases do Efeito Estufa do setor energético (BRASIL, 2020b).

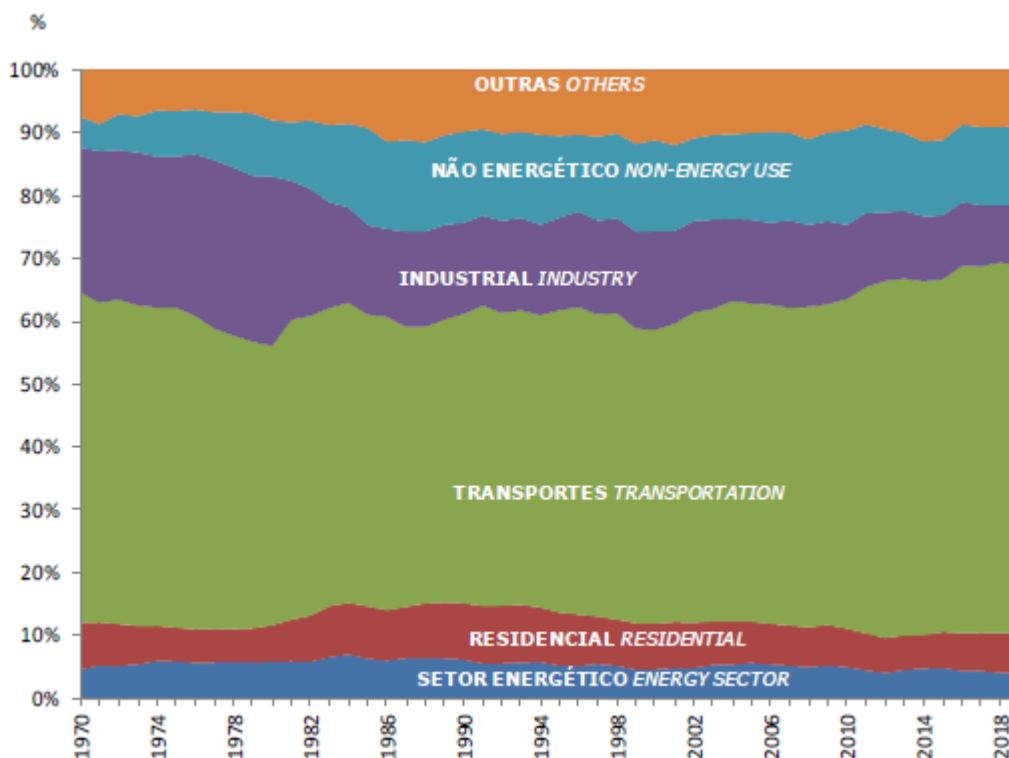


Figura 03 – Composição Setorial do Consumo de Derivados de Petróleo. Fonte: BRASIL (2020a)

A produção de biocombustíveis, tanto o etanol proveniente da cana-de-açúcar quanto o biodiesel proveniente da soja, também é bastante controversa do ponto de vista da sustentabilidade. Andrade e Mattei (2013) apontam que os principais problemas ambientais decorrentes da produção em grande escala dos monocultivos de soja e cana de açúcar são impactos no solo e nos corpos hídricos e a poluição do ar (relacionada às queimadas que facilitam a colheita e, apesar de proibidas ainda ocorrem no país). Os cultivos utilizam-se espécies geneticamente modificadas – cujo impacto ambiental ainda não é mensurado – e de uma ampla quantidade e variedade de pesticidas e herbicidas. A expansão da fronteira agrícola e o conseqüente desmatamento da floresta amazônica são impactos indiretos da cadeia dos biocombustíveis. Somado a esses fatores, tem-se o alto consumo de água tanto na agricultura da cana quanto na produção do etanol e que, esse cultivo é produzido majoritariamente no estado de São Paulo, onde a escassez hídrica é uma realidade a cada dia mais alarmante. (ANDRADE; MATTEI, 2013)

O trabalho de Andrade e Mattei (2013) apresentou também indicadores de insustentabilidade da MEB. Os índices de intensidade energética, que relacionam o consumo de energia com o PIB do país, revelam que enquanto o Brasil aumentou em 5% a demanda por energia para produzir riquezas, a média mundial decaiu em 14%. O mesmo acontece com a intensidade de carbono na economia (toneladas CO<sub>2</sub> emitidos para cada 1.000US\$ produzidos): no Brasil houve um aumento de 3,31% do índice de 1991 para 2008, enquanto a média mundial caiu em 13,9% e dos países da OCDE em 22,65%. Outro índice que o estudo explana é a emissão de CO<sub>2</sub> per capita, que no Brasil aumentaram 5 vezes mais que na média mundial entre 1980 e 2008. Os dados colocados no trabalho levam a conclusão de que ao longo do tempo a sustentabilidade da matriz energética vem diminuindo, na contramão das tendências e demandas mundiais.

### 3. A urbanização no Brasil e seus impactos ambientais

O conceito de residências privadas como são a maioria dos lares no Brasil e no mundo moderno se consolidou principalmente a partir da revolução francesa e da revolução industrial, quando, com o surgimento das indústrias a população começou a migrar para as cidades em busca de trabalho e surgiram o que hoje conhece-se por zonas urbanas. Ariés e Duby (1991) apresentam como as moradias coletivas foram sendo substituídas por residências unifamiliares em nome da

privacidade, segurança, da individualidade familiar ou até mesmo por questões de status, a começar pela burguesia do século XIX até as classes mais baixas no século XX, que deixaram maciçamente os cortiços e vilas e foram para as periferias em busca de moradias mais baratas e privadas. Mesmo as vilas e casas de campo, antes habitadas por diversas famílias e gerações, vieram a se tornar cada vez mais unifamiliares: em decorrência da mecanização das atividades rurais e aumento da atratividade das cidades, sofrem com o êxodo rural, de modo que só residem as propriedades rurais, a família que vive da atividade local.

No Brasil, independentemente dos diversos recortes sociais, culturais e econômicos encontrados, Oliveira (1982) coloca que as moradias preenchem, para além de seu papel funcional de casa e abrigo, também as exigências culturais e de identidade dos indivíduos, com influências diretas na saúde e qualidade de vida dos moradores. De modo geral, são as residências unifamiliares a habitação padrão do cidadão brasileiro das áreas rurais e urbanas.

O crescimento da população e o conseqüente inchaço das cidades, mundialmente notáveis nos últimos dois séculos, são diretamente ligados ao aumento dos impactos ambientais. O MMA (2012) coloca a industrialização e o crescimento das aglomerações urbanas como fenômenos historicamente concomitantes e de grande poluição do meio ambiente, apesar de serem a solução mais racional para a convivência da população mundial, cada vez mais numerosa. O Ministério destaca, dentre os problemas ambientais decorrentes da urbanização o grande consumo energético, movimentações de terra e impermeabilização e contaminação do solo, desflorestamento, alto nível de emissões de gases poluentes e poluição dos corpos d'água.

No contexto brasileiro a divisão entre os perímetros rurais e urbanos segue a legislação de cada município e não obedece a uma regra focada em características específicas como ocupação, pressão antrópica ou renda. O IBGE (2017) procura por meio do *status quo* atual da organização territorial orientar os municípios em relação a caracterização e classificação dos espaços no país, mas, a única classificação atualmente utilizada é a de que áreas rurais são aquelas fora dos perímetros definidos como urbanos (GIRARDI, 2008).

Este mesmo trabalho do IBGE (2017), inclusive, realiza uma importante discussão de como o conjunto de transformações que ocorreu no campo e nas cidades nas últimas décadas (principalmente a partir dos anos 1960) passa, hoje, por abordagens multidimensionais na classificação territorial. Na medida em que o rural e o urbano, enquanto manifestações socioespaciais, se apresentam de forma bastante complexa e heterogênea, constitui-se o desafio de identificar padrões dessas manifestações, considerando, principalmente, a extensão do

território brasileiro. Em outras palavras, a ideia é a de que o rural e o urbano precisam ser compreendidos em toda sua diversidade, podendo – e devendo – ser avaliados de maneira plural, em abordagens legais, morfológicas, demográficas, culturais, econômicas, dentre outras.

O Censo Demográfico de 2010 (IBGE, 2010) contabilizou 190.755.799 habitantes em situação de domicílio no país, frente a um total de pouco mais de 196 milhões de pessoas. Sendo 160.925.792 destes residentes de áreas urbanas e apenas cerca de 15% da população domiciliada em áreas rurais. O Instituto aponta ainda (IBGE, 2017) que 65,36% da população se encontra em concentrações urbanas ou unidades populacionais com mais de 50.000 habitantes em área de ocupação densa. Em projeções para os últimos anos, o IBGE estima uma população residente de 211 milhões de pessoas no Brasil em 2020.

Em relação ao processo de urbanização brasileiro frente aos impactos ambientais que ele envolve, e o objetivo do desenvolvimento sustentável das cidades brasileiras, um trabalho bastante relevante é o de Ferreira e Ferrara (2015). Os autores elaboram recomendações para a garantia de políticas públicas de desenvolvimento urbano sustentável, com foco, especialmente, na habitação, na mobilidade e no saneamento, propondo a inovação de paradigmas, sob o espectro de uma nova matriz urbana, que incorpore a escala de valores socioambientais.

Nesse sentido, é interessante notar como a questão da sustentabilidade urbana se apresenta como que sob o mesmo paradoxo que atravessa, também, as discussões sobre o clima e o meio ambiente: quanto mais as cidades crescem e se “desenvolvem”, nos padrões de urbanização modernos, maiores os impactos ambientais, sendo este, portanto, o dilema dos países que vivem intenso ciclo de crescimento econômico e urbano (FERREIRA & FERRARA, 2015), tal qual o Brasil viveu durante todo o último século. Mas além disso, o Brasil tem outro fator agravante, que é o legado ambiental urbano deixado por um modelo de crescimento econômico baseado em múltiplas desigualdades, que durante décadas privilegiou a concentração da renda e a restrição do acesso à propriedade da terra. Nesse sentido, as peculiaridades do processo brasileiro de urbanização, muito semelhante entre os países marcados pelo subdesenvolvimento, fazem com que o enfrentamento de problemas como a precariedade habitacional, a informalidade urbana e este tal legado ambiental e social, seja o desafio ambiental urbano prioritário (FERREIRA & FERRARA, 2015).

#### 4. Sistemas energéticos residenciais brasileiros

Sendo um setor em que a população têm participação ativa e influência direta, as residências representam um nicho importantíssimo no consumo de energia e produção de resíduos e efluentes. Segundo o Balanço Energético Nacional de 2020 (BEN), o setor residencial é responsável por 10,3% de toda a energia consumida no país e tem influência direta nos 11,2% consumidos pelo setor energético e 5,5% decorrente das perdas de energia do sistema. Essa participação do setor deve aumentar ao longo do tempo, uma vez que conforme a economia cresce, o consumo energético per capita e, conseqüentemente das residências, aumenta; Além disso, o cenário atual é favorável ao aumento da realização de trabalhos antes feitos em escritórios em casa, o que também corrobora no crescimento da demanda energética das residências brasileiras.

As residências brasileiras, habitadas por cerca de 211 milhões de pessoas, consumiram em 2019 26,655 milhões de tep, gerando o índice de 0,12tep per capita. A EPE (BRASIL, 2020b) aponta que 46% da energia consumida nas residências brasileiras têm por fonte a eletricidade – totalizando 142.527GWh, dos quais a maior parte tem usos finais térmicos, como aquecimento de água em chuveiros elétricos, refrigeração de alimentos e condicionamento do ar de ambientes. A cocção de alimentos é responsável pela maior parcela do uso final de energia térmica, sendo as principais fontes utilizadas na atividade o GLP (24,4% do consumo total) e a lenha (26,6%). Esses combustíveis também são usados, menos comumente, para aquecimento de água e ambientes, assim como a eletricidade já é usada na cocção residencial por meio de fogões de indução e fornos elétricos. No entanto, o uso final da energia utilizada ainda não possui um retrato preciso e fiel, apesar das estimativas serem levantadas no perfil de consumo médio dos brasileiros. Na Figura 04, a EPE sintetiza a participação das fontes de energia no consumo residencial nos últimos 10 anos.

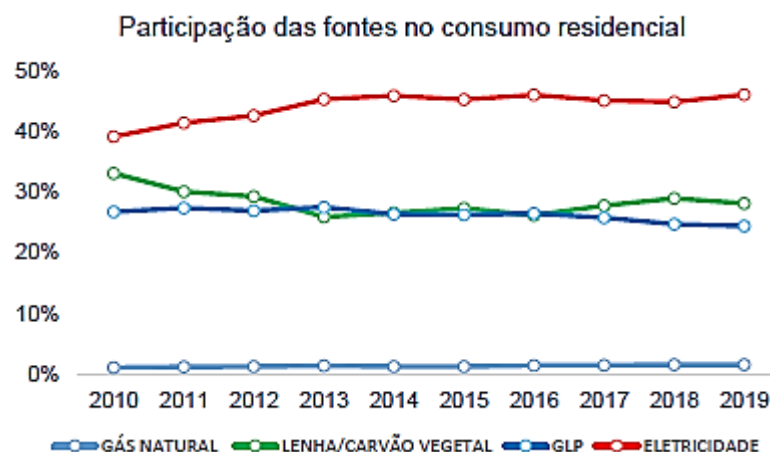


Figura 04 – Participação das fontes no consumo residencial. Fonte: BRASIL (2020b)

A região sudeste, onde se concentra a maior parte da população e residências do país, é também a maior consumidora da eletricidade (48%) e do GLP (41,4%) do setor residencial. Apesar disso, a capacidade instalada de geração de eletricidade da região Sudeste é de apenas 27,1% do total nacional, tornando a região uma importadora de eletricidade das demais fontes nacionais. Para o sistema elétrico, tal importação significa custos mais altos na transmissão e uma demanda incessante pela construção de novas unidades geradoras de grande porte nas regiões com potencial ainda a ser explorado (no caso das hidrelétricas, a região Norte). Para o consumidor, tais custos são repassados e as tarifas de energia elétrica no Sudeste são, de modo geral, as mais altas do país. Frente esses dados, a geração distribuída é uma alternativa bastante viável para a região, que tem 37% da potência instalada nessa modalidade no território nacional. Minas Gerais é um estado de destaque, concentrando 53% da potência instalada de GD do Sudeste, o que se deve ao estado ter a maior tarifa para o consumidor residencial e localização geográfica privilegiada quanto à insolação, para aproveitamentos fotovoltaicos e de aquecimento solar (CASTRO, 2015).

Os dados oficiais do BEN 2020 e a análise do cenário por ele apresentado apontam para soluções baseadas na autogeração residencial a partir de fontes renováveis de energia. A alternativa é viável tanto para uma maior autonomia das residências no que diz respeito a suas demandas energéticas quanto para uma diminuição dos impactos ambientais e custos decorrentes da cadeia energética atual. Assim sendo, o planejamento energético e as políticas públicas devem considerar e fomentar a autogeração residencial a partir de fontes renováveis.

## 5. Planejamento Energético

O planejamento energético tem por objetivo promover e otimizar o suprimento de energia a partir das diversas fontes considerando as políticas econômicas, sociais e ambientais vigentes. O planejamento energético passa pela elaboração de planos e metas de suprimento de energia, de economia e de investimentos; como um processo contínuo que passa por correções e atualizações frequentes, que ajustam o planejamento para o curto, médio e longo prazos. (BAJAY, 1989)

Uma vez que a energia se relaciona com todos os setores produtivos, entende-se que a tomada de decisão do setor energético impacte em vários aspectos a economia. Somado a este fator, tem-se que os investimentos relacionados ao sistema energético são normalmente bem grandes (considerando usinas energéticas e refinarias, principalmente) e o critério de execução dos mesmos não pode ser voltado exclusivamente para a otimização setorial. (BAJAY, 1989)

Bajay (1989) coloca ainda que as diretrizes de políticas energéticas devem ser adotadas nas fases iniciais do planejamento e que serão detalhadas e eventualmente alteradas ao longo dos trabalhos em função de questões de exequibilidade técnica, econômica, política e social e da própria dinâmica de otimização embutida no processo de planejamento.

Os principais atores nas questões de políticas públicas e orientação do setor energético são os governos, que devem pautar as demandas mundiais, nacionais e ambientais. O Acordo de Paris (e suas consequentes NDCs) e Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODSs) da ONU são parte dos direcionamentos que o governo deve considerar em seu planejamento. Outro papel do estado na transformação energética é a promoção de Ciência, Tecnologia e Inovação (CT&I), que certamente contribuirão para um desenvolvimento econômico e social do país. A complexidade da geração, transmissão e distribuição de energia combinada a tendências de maior descentralização e liberalização dos mercados no setor, levam o governo a planejar não só a expansão do sistema energético, como a buscar investimentos e regulamentar a atuação do setor privado para a execução de tal ampliação. (BRASIL, 2020c)

Dessa forma, o Ministério de Minas e Energia (BRASIL, 2020c) listou 10 princípios para a atuação do Governo Federal no planejamento energético de longo prazo (Figura 05) e coloca como atividades do governo para o setor garantir as regras concorrenciais para que as tecnologias e fontes compitam em condições igualitárias; regulamentar as inovações

tecnológicas e modelos de negócios e estabelecer políticas energéticas flexíveis que permitam o não travamento tecnológico.



Figura 05 – Papel e Atuação do Governo: Dez princípios para o Setor de Energia. Fonte: BRASIL (2020c)

### 5.1. Plano Nacional de Energia

O Plano Nacional de Energia (PNE) é um documento oficial do Governo Federal em que são feitas projeções e traçadas diretrizes que pautarão o planejamento energético a médio e longo prazo. A versão mais recente do documento é para o horizonte de 2050 e foi lançado em 2020, substituindo o PNE 2030 lançado em 2007 (BRASIL, 2020c).

O PNE 2050 apresenta uma série de estudos a longo prazo – dos quais alguns serão detalhados na etapa de desenvolvimento desse trabalho – considerando uma vasta gama de cenários energéticos, econômicos, sociais e ambientais. Baseado no PNE 2030, a atualização do documento considera as alterações nas projeções com base nos acontecimentos internacionais e nacionais da última década e ano e considera um novo planejamento a longo prazo. O aumento da competitividade das fontes renováveis solar e eólica e a grande dificuldade de novos grandes aproveitamentos hidrelétricos no país, somados aos acidentes nuclear (Fukushima) e petroquímicos (nos EUA), provocaram alterações nas políticas energéticas mundiais e nacionais. O PNE 2050 ainda destaca a saída do Reino Unido da União Europeia (“Brexit”), a



disputa comercial e política entre EUA e China, a guerra de preços do petróleo entre Rússia e Arábia Saudita e, obviamente, a pandemia do COVID-19 como fatores de grande influência no setor energético e no replanejamento. (BRASIL, 2020c)

Além desses fatos, o horizonte de 30 anos à frente na elaboração de um plano busca antecipar as inovações e eventos que possam alterar a relação homem e energia e considera também a crescente importância dos consumidores no setor de energia (devido a autogeração) e o desenvolvimento de redes inteligentes. Assim sendo, o PNE 2050 analisa cenários a partir das seguintes questões de interesse para a definição de estratégias a longo prazo, considerando a elevada incerteza do futuro e, conseqüentemente do setor energético:

- “1. Qual o patamar de crescimento da demanda de energia?
2. Quais as perspectivas caso haja restrições ao aproveitamento do potencial remanescente de UHEs?
3. Um sistema elétrico 100% renovável é possível e viável economicamente até 2050?
4. Qual o impacto das mudanças climáticas sobre o setor energético?
5. Quais impactos sobre o setor de uma maior inserção de fontes de geração renovável variável, em termos de custo, disponibilidade etc.?
6. No horizonte até 2050, que outras tecnologias podem ganhar importância no atendimento à demanda energética futura do país?
7. Em que ritmo os ganhos de eficiência energética poderão contribuir para a redução do crescimento da demanda de energia no longo prazo?
8. Qual o espaço da geração distribuída e dos demais recursos energéticos distribuídos (RED) no total de atendimento à carga de energia no longo prazo?
9. Qual o papel da tecnologia nuclear na futura matriz energética brasileira?
10. A geração termelétrica a carvão atingiu um teto na sua oferta no Brasil?
11. Como um cenário de eletrificação de transporte (cargas, mas principalmente passageiros) afeta outras cadeias como a de etanol e de petróleo? Como o País se posiciona diante desse tema?” (BRASIL, 2020c, p. 26)

Para tais questões foram avaliados os cenários limítrofes: o de “Desafio da Expansão” (em que o crescimento da demanda é significativo) como base para os estudos quantitativos, e o cenário de “Estagnação”, em que a matriz deve evoluir, mas sem uma relevância no aumento da demanda por energia. O PNE 2050 ainda trata individualmente questões transversais (Figura 06) e busca antecipar, em seus estudos de cenários, o comportamento da demanda e oferta nacional frente as possíveis alterações que possam ocorrer nos próximos anos. Os temas relacionados a esse estudo (Descentralização, Descarbonização, Mudanças Climáticas,

Transição Energética e Pesquisa Desenvolvimento e Inovação) serão abordados no desenvolvimento desse trabalho, junto da visão do PNE sobre o assunto.



Figura 06 – Questões transversais abordadas no PNE 2050. Fonte: BRASIL (2020c)

## 5.2. Plano Decenal de Energia

Os Planos Decenais de Expansão de Energia (PDE), bem como os PNEs, tem por objetivo planejar a expansão do setor energético sob a perspectiva da sustentabilidade e disponibilidade de recursos. No entanto, enquanto os PNEs tem por foco o planejamento estratégico da expansão a longo prazo do setor energético e orientar o planejamento a curto e médio prazos, os PDEs tem o horizonte decenal e como cenário de referência as políticas energéticas vigentes e o PNE como orientação. Assim sendo, os PDEs são anualmente revisados e suas análises de sensibilidade sempre são voltadas para o horizonte previsto nos cenários dos PNEs.

## 6. Geração Distribuída (GD)

O Brasil tem uma matriz energética baseada em grandes centrais geradoras de eletricidade, na maioria usinas hidrelétricas, relativamente distantes dos grandes centros de consumo. Essa

configuração, chamada de geração centralizada, demanda grandes investimentos desde a construção de usinas (hidrelétricas ou térmicas) quanto nas redes de transmissão e distribuição. Na contramão desse padrão, na geração distribuída a energia é produzida junto ou próxima ao consumidor final (CASTRO, 2015).

Essa modalidade de geração é, em linhas gerais, positiva para a matriz energética brasileira, uma vez que descentraliza e aumenta a oferta de energia elétrica, proporcionando certa diminuição na necessidade do setor energético investir em geração e transmissão de energia elétrica (SILVA et al., 2018). Além disso, a geração distribuída utiliza fontes renováveis de energia ou tecnologias como microturbinas a gás e grupos geradores Diesel (que podem ser adaptados para operação com biogás, biodiesel e até biometano), células combustíveis, minicentrals hídricas, minicentrals térmicas de biomassa, geração fotovoltaica e aero geradores (ITRE, 2010).

No âmbito do consumidor, produzir sua própria energia elétrica pode ser uma opção para quem não deseja ser prejudicado por interrupções indevidas no fornecimento de energia (no caso de instalações com baterias) ou reduzir o consumo nos horários de pico de demanda (com tarifas mais altas para consumidores industriais). Somado a isso, a GD pode proporcionar autonomia no consumo, a minimização de impactos ambientais e economia de recursos. Portanto, a prática se destaca como alternativa para solução de problemas de suprimento energético através de várias características vantajosas: maior aproveitamento de recursos energéticos regionais com diversificação das fontes primárias, melhor aproveitamento da sazonalidade, uma melhor complementação com relação à geração hidráulica e, finalmente, economia em investimentos na transmissão e distribuição de energia elétrica com suprimento local de parte da demanda dos sistemas a que estão conectados (BOLLEN; HASSAN, 2011).

Historicamente, o conceito de geração distribuída existe desde o início do século XIX, quando os sistemas elétricos não eram interligados e locais isolados tinham, como única opção, a autogeração de eletricidade. No entanto, com o desenvolvimento de redes de transmissão e distribuição cada vez mais eficientes e robustas, os sistemas de GD se tornaram cada vez menos comuns, até que a crise do petróleo (anos 1970) e a evolução de tecnologias competitivas nos anos 1990 voltaram a impulsionar a produção descentralizada de eletricidade e calor. Atualmente, países como a Finlândia e a Holanda possuem 40% de suas demandas por eletricidade em supridas por sistemas próximos aos consumidores e Alemanha, Espanha e Portugal tem incentivado cada vez mais essa prática. (SANTOS; SANTOS, 2016).

No entanto, a GD traz consigo algumas desvantagens para as distribuidoras e geradoras de energia, que podem ter prejuízos financeiros decorrentes do aumento do custo de operação do sistema elétrico e diminuição do faturamento, além da dificuldade em manter a segurança e qualidade da energia assegurados, uma vez que um grande número de injetores de eletricidade na rede pode causar problemas harmônicos e de variação de tensão. (SILVA et al., 2018)

Já do ponto de vista ambiental, nota-se que os impactos da GD a partir de fontes renováveis são significativamente menores do que os das grandes centrais geradoras e a pegada de carbono, quando consideradas tais fontes na geração distribuída, é bem menor do que a de sistemas centralizados.

### 6.1. Políticas públicas e legislação vigente para a GD no Brasil

A tendência de utilização de fontes renováveis e geração descentralizada é mundial e promissora no aspecto da transição energética para uma matriz de menor impacto de carbono. Portanto, cabe aos governos regulamentar, legislar e promover incentivos para a geração distribuída de acordo com seu planejamento e com o avanço das tecnologias disponíveis.

Recentemente o Projeto de Lei (PL) 5829, chamado de marco legal da Geração Distribuída, foi aprovado na Câmara dos Deputados e no Senado Federal. O PL votado em dezembro de 2021 busca reduzir o prejuízo que a expansão da GD pode causar às distribuidoras, organizando os prosumidores em grupos e cobrando de cada um deles uma parte da TUSD<sup>1</sup> para a injeção de eletricidade excedente da geração na rede por meio do Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE) (CAMARA DOS DEPUTADOS, 2021b). Por outro lado, o projeto inclui a micro e mini geração<sup>2</sup> de energia no REIDI (Regime Especial de Incentivos para o Desenvolvimento de Infraestrutura) e institui o Programa de Energia Renovável Social (PERS), o que permite benefícios fiscais para os sistemas FV de todo o país e um consequente aumento de atratividade financeira. (CANAL SOLAR, 2021). As novas regras terão o prazo de 12 a 24 meses para entrar em vigor sendo que, para os micro e minigeradores distribuídos já em

---

<sup>1</sup> Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição - Os consumidores atendidos em baixa tensão e que não possuem medidor com memória de massa pagam uma tarifa monômnia (na qual a demanda de potência (kW) não é cobrada, apenas o consumo de eletricidade (kWh)) com um componente fixo e um componente variável com o consumo.

<sup>2</sup> Definidas pela ANEEL como geração de até 75kW de potência para microgeração e 5MW de potência para a minigeração de eletricidade (sendo 3 MW para fontes hídricas).

operação, haverá um período de transição de 5 anos, a fim de manter os períodos de retorno de investimento de tais sistemas.

A GD existe no cenário brasileiro ao menos desde os anos 1980, quando a Companhia Paulista de Força e Luz (CPFL) pioneiramente passou a adquirir a energia elétrica excedente produzida nas unidades de cogeração das usinas de açúcar e álcool do estado de São Paulo (IEI, 2018). Já em 2002, a GD residencial começou a ser incentivada com a criação do PROINFA (Programa de Incentivo a Fontes Renováveis e Alternativas) e desde então, o aumento gradual em políticas públicas e incentivos ao setor desde então. Silva (et al., 2018) faz na uma compilação das políticas que envolvem a geração distribuída no cenário brasileiro no Quadro 02 até a Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012 (ANEEL, 2012) e sua revisão RN nº 687/2015 (ANEEL, 2015) como marcos regulatórios e o Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica (ProGD). Este último prevê, até 2030, um investimento de R\$ 100 bilhões e adesão de 2,7 milhões de unidades consumidoras e geração anual de 48 milhões de MWh (equivalente à metade de Itaipu em um ano). (Silva et al., 2018).

<b>Política</b>	<b>Ano</b>	<b>Ênfase</b>
Lei 9.247	1996	Redução não inferior a 50% nas tarifas de uso dos Sistemas de Transmissão e Distribuição
Convênio ICMS 101	1997	Isenção do ICMS nas operações com equipamentos e componentes.
Lei nº 10.438	2002	PROINFRA - Diferenciar os valores pagos as fontes de GD em relação a geração de fontes mais competitivas
Decreto de nº 5163	2004	Colocou características da GD para as distribuidoras
Resolução Normativa ANEEL 482	2012	Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração aos sistemas de distribuição de energia elétrica e o sistema de compensação de energia elétrica
Decreto nº 46.296 (Específico a Minas Gerais)	2013	Incentivos fiscais e tratamento tributário diferenciado aos empreendimentos localizados no estado
Convênio ICMS 16	2015	Autoriza a conceder isenção nas operações internas relativas à circulação de energia elétrica, sujeita a faturamento sob o Sistema de Compensação
Lei 13.169	2015	Ficam reduzidas a zero as alíquotas da Contribuição para o PIS/Pasep e da Contribuição para Financiamento da Seguridade Social – CONFINS incidentes sobre a energia elétrica ativa
Lei 13.203	2015	Descontos de pelo menos 50% nas tarifas de uso do sistema de transmissão e de distribuição e BNDES (taxas diferenciadas)
Resolução Normativa ANEEL nº687/2015	2015	Revisa a Resolução Normativa ANEEL 482 e os procedimentos de distribuição
ProGD	2015	Estimular o crescimento da GD no Brasil

Quadro 02 – Marcos legais das políticas de Geração Distribuída (Adaptado de SILVA et al., 2018)

O Relatório Final do ProGD (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2019) divide-se em subgrupos de trabalho sobre financiamento, comercialização e edificações públicas de modo a organizar os incentivos do programa nessa área. As condições de financiamento de bancos públicos, a relação de programas privados de financiamento bem como a ações no âmbito tributário e de incentivos cabíveis ao MME para a GD são discutidos e recomendações feitas na publicação. O subgrupo de comercialização avalia a viabilidade e aponta diretrizes para que os excedentes gerados na micro e mini geração distribuída possam ser vendidos no Ambiente de Contratação Livre (ACL) como forma de ampliar a atratividade econômica, e por

consequência, incentivar os sistemas de GD – fotovoltaica, eólica, hidráulica e biomassa (MME, 2019).

## 6.2. Políticas públicas e legislação vigente para a GD no mundo

Ao olhar para a Geração Distribuída no mundo, nota-se aproveitamento e regulamentação mais maduros por parte dos países desenvolvidos e o oposto – ainda que crescente – nas nações em desenvolvimento. A União Europeia (UE) é, em geral, uma grande referência em GD e incentivadora da popularização da produção descentralizada de energia, uma vez que vê nessa prática uma solução para o abastecimento energético mais sustentável no planeta.

O Comitê de Indústria, Pesquisa e Energia (*Committee on Industry, Research and Energy*) do parlamento europeu publicou ainda em 2010 um documento direcionador geral para as políticas internas do bloco exclusivo para a Geração Distribuída (ITRE, 2010). A publicação esclarece os modelos de tarifação em vigor na época na UE e quais países adotaram tais medidas de fomento a GD. O mecanismo de incentivo mais utilizado nos Estados-Membros da UE era a tarifa FIT (Feed in Tariff), em que os países pagam um preço fixo ou geram bônus em energia para cada quilowatt-hora injetado na rede, similar a legislação atual brasileira, mas com o valor da tarifa valorizado em relação ao custo da energia convencional. Essa modalidade permite o favorecimento de tecnologias específicas em função das condições geográficas do local de geração. Na Alemanha, por exemplo, locais com pouco vento recebem um valor de FITs mais altos para a instalação de geração eólica, a fim de dispersar a utilização da fonte no país. Já na Espanha, a tarifa FIT é diferenciada para a geração Fotovoltaica. Os países que adotaram esse modelo de incentivo possuem bastante adesão da geração distribuída, como: Espanha, Portugal, Alemanha, França, Holanda, entre outros. (ITRE, 2010)

Uma vez que a legislação energética tem crescente importância nas esferas pública, profissional e acadêmica, Heffron e Talus (2016a) buscaram criar uma teoria da lei de energia com fins de que esta possua uma estrutura teórica central e mundial. O trabalho dos autores consiste em conscientizar estudantes e profissionais da área do direito da importância do desenvolvimento e compreensão da Lei da Energia para a transição energética necessária.

Os autores criaram referenciais teóricos e discutem se a criação de Leis de Energia no contexto do século 21 precisa quebrar paradigmas relacionados aos seus dilemas, organizados na Figura

07. Heffron e Talus (2016b) consideram que cada ponta do triângulo (economia, segurança energética e meio ambiente) tenciona as leis e políticas energéticas (no centro) em sua direção. O ideal seria que a legislação de energia equilibrasse os objetivos de cada um desses pontos em busca de um resultado positivo pra sociedade. As leis não são a solução dos problemas que rondam o tema, mas, uma ferramenta em busca da justiça social, energética e ambiental (Heffron e McCauley, 2017).

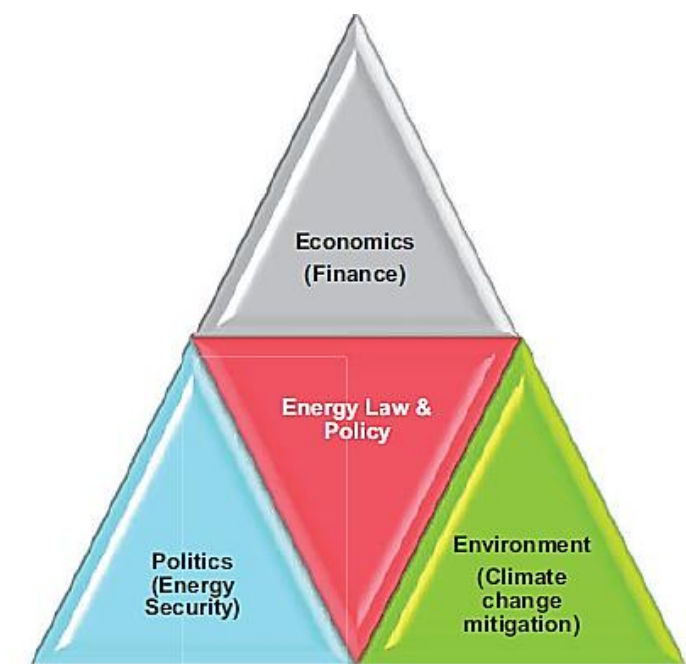


Figura 07 – Triângulo das leis e políticas de energia: “The Energy Trilema”. Fonte: Heffron e Talus (2016b)

Outro tipo de política de incentivo à GD é o de Obrigação Renovável, em que o prosumidor de eletricidade tem a obrigação de fornecer uma determinada quantidade de eletricidade de fonte renovável à rede. Caso o fornecimento não seja cumprido, o produtor é multado ou pode comprar a produção renovável excedente de outro gerador de eletricidade renovável. Geralmente a tarifa paga é semelhante a do sistema e tende a favorecer produtores maiores, que conseguem garantir o fornecimento de eletricidade e ficam menos vulneráveis as variações tarifárias, outra barreira para o investimento e planejamento de longo prazo. Essa é uma modalidade mais recente que a FIT e possui adesão de países como Bélgica, Luxemburgo, Suécia e Polônia. Além disso, esse é o modelo que a UE utiliza como meio de comercialização de créditos na geração de energia por fontes renováveis entre países membros. Algumas nações, como o Reino Unido (mesmo com sua saída da UE) e a Itália, utilizam o modelo RO de forma complementar ao FIT.



Samkharadze (2019) avaliou o quanto a legislação europeia tem se tornado referência e influência na formulação de leis de energia para além de seus estados membros, por base no caso da Geórgia. Seu artigo discute que apesar do amadurecimento e bom estabelecimento das políticas energéticas europeias, quando um país de fora da UE decide adotá-las, uma harmonização com sua própria legislação e realidade social se faz necessária.

Já nos EUA, a política para geração distribuída é definida e detalhada por cada estado. De modo geral, as unidades da federação estabeleceram o sistema *Net Metering*, sistema de medição e compensação de energia semelhante ao brasileiro que, por meio de medidores bidirecionais, afere a energia gerada e exportada da rede e a consumida da mesma (SEIA, 2021). 38 estados adotam essa modalidade e geram bônus em utilização de energia tal qual o Brasil ou remuneram o portador do sistema de produção, enquanto outros 10 territórios possuem outro tipo de legislação vigente. (DSIRE, 2021)

## 7. Tecnologias disponíveis para a autogeração energética residencial

Quando as residências são consideradas como um potencial setor de autoprodução de energia, é muito relevante ponderar quais os usos finais de energia do ambiente doméstico. A Figura 03, que mostra a participação das fontes no consumo residencial ao longo dos anos e permite a interpretação de que, além da eletricidade para os mais diversos fins, as demandas energéticas domésticas se estendem ao calor para cocção e aquecimento de água - muitas vezes de fonte elétrica também, como abordado na seção 4 dessa revisão. As tecnologias a serem consideradas nesse trabalho como alternativas para a autogeração sustentável precisam ser, acima de tudo, consolidadas e disponíveis nas residências brasileiras. Esse trabalho, portanto, considera como fontes viáveis para uma considerável parcela da população o sol, como fonte de eletricidade e calor (água quente) e a biodigestão de resíduos orgânicos e esgoto doméstico, como fonte de biogás para cocção.

Sendo assim, as próximas seções dessa revisão se dedicam a explanar cada uma das tecnologias estudadas por essa pesquisa, de modo a trazer conceitos básicos sobre as fontes energéticas que podem ser utilizadas nas residências brasileiras.

## 7.1. Biodigestão

A biodigestão é um processo de transformação de biomassa em fonte de aproveitamento energético, que ocorre a partir da digestão anaeróbia da matéria orgânica, no qual parte da biomassa é transformada em biogás pela ação de bactérias e ausência de oxigênio, dentro de determinados limites de temperatura, teor de umidade e acidez, em um ambiente impermeável ao ar (PLUGGE, 2017).

### 7.1.1. Biomassa

Biomassa é o termo utilizado para qualquer matéria orgânica que possua potencial de conversão de energia. Dentre as mais utilizadas nesse processo estão as biomassas residuais de processos industriais (como o bagaço de cana de açúcar e o licor negro da madeira), rejeitos de agropecuária, esgoto humano e resíduos sólidos urbanos (MOURA, 2012). Existem também, atualmente, as práticas de geração de biogás a partir de dejetos provenientes da piscicultura combinados ao cultivo hidropônico de alimentos – aquaponia - (MACHADO et al., 2013) e de cultivo de palha de alto potencial de geração de biogás, para o uso em biodigestores. (PÖESCHL et al., 2010).

### 7.1.2. Biogás

O biogás pode ser utilizado tanto em sua queima direta para obtenção de calor (em aquecedores, fogões, caldeiras etc.), quanto para gerar eletricidade, em motores a combustão adaptados ou microturbinas a gás – no caso de sistemas com maiores taxas de produção. Seu potencial energético está diretamente ligado ao teor de metano de sua composição – geralmente entre 50 e 75%. (PLUGGE, 2017).

Além de uma solução energética, o uso do biogás é também uma alternativa às emissões geradas pela decomposição de dejetos provenientes das atividades humanas, responsáveis por grande parte das emissões de Gases de Efeito Estufa – GEE. Atualmente, existem plantas de aproveitamento de biogás proveniente de aterros sanitários, pecuária e estações de tratamento de esgoto por todo o planeta.

### 7.1.3. Biodigestor de escala residencial

Biodigestores são reatores anaeróbios que transformam complexos compostos orgânicos em substâncias de cadeias mais simples, como o metano e o dióxido de carbono além de alguns outros gases e vapor d'água, em menores quantidades.

Existem atualmente biodigestores de baixo custo e de pequena escala, baseados nos princípios de engenharia ecológica, utilizando o mínimo possível de insumos externos no tratamento de dejetos, materiais orgânicos e águas residuais, com a finalidade de captar energia renovável, resultando em diversos benefícios (LANSING et al., 2008) como a produção de aquecimento residencial, gás de cozinha e biofertilizante. A maioria dos sistemas instalados são na área rural, uma vez que a abundância de matéria orgânica e escassez de saneamento são muito presentes nesse ambiente.

## 7.2. Energia Solar

O Sol é a fonte primária de energia na Terra. Sua luz pode ser capturada em quase todo o mundo e convertida em energia elétrica ou térmica. Essa abundância de disponibilidade e opções de tecnologia para aproveitamento da radiação solar torna o Sol como fonte renovável alternativa aos sistemas convencionais e pode ser responsável por minimizar o consumo de energia elétrica proveniente de fontes convencionais.

### 7.2.1. Energia Solar Térmica

Apesar de um potencial de geração de eletricidade, a utilização mais eficiente energeticamente para a energia solar é o calor, uma vez que grande parte da eletricidade consumida nas residências do país é dissipada em chuveiros elétricos e a eficiência de conversão da radiação em energia térmica é bem alta em sistemas relativamente simples. No Brasil, desde a crise do petróleo da década de 1970, existe a produção e comercialização de coletores solares acoplados a tanques de armazenamento de água quente para uso residencial. No entanto, apenas em meados da década de 1990 que a tecnologia se difundiu e o mercado cresceu, chegando a 9,8 milhões de m<sup>2</sup> de coletores em funcionamento em 2013.

“Além do benefício de ser uma fonte renovável e limpa de geração de energia, a utilização de um sistema de aquecimento solar de água para o banho traz vantagens também para as concessionárias de energia, pois os chuveiros elétricos contribuem

consideravelmente para a elevação da carga na rede nos horários de pico.” (CASTRO, 2015, p. 20)

Além do aquecimento de água para banho, a energia solar térmica pode ser utilizada para desidratar, cozer e até assar alimentos por meio de equipamentos facilmente montados e bem posicionados em relação ao sol. Existem captadores de energia solar para cozimento dos tipos churrasqueira solar, forno e fogão solar e, em geral, são sistemas que concentram a energia térmica direta (por meio de vidros) ou indiretamente (por meio de espelhos) no local em que o alimento será cozido. (BANSAL, SALINI e KHATOD, 2014).

### 7.2.2. Energia Solar Fotovoltaica

A energia solar fotovoltaica é produzida através da conversão direta de energia luminosa proveniente do sol em energia elétrica. As células solares são as responsáveis por essa transformação. Elas são constituídas de materiais semicondutores, sendo o silício o mais utilizado, que cria artificialmente um campo elétrico constante. Os sistemas de conversão de energia solar fotovoltaicos têm diversas vantagens como fonte de eletricidade: dispensa combustíveis, não possuem partes móveis, não geram ruídos, nem emitem poluentes na atmosfera durante sua longa vida útil – até 20 anos – e demandam pouca manutenção.

O sistema de geração fotovoltaico (FV) pode ser conectado à rede ou isolado, o que permite sua aplicação em praticamente qualquer ambiente que demande eletricidade (desde que exposto ao Sol) tendo grande papel no desenvolvimento de regiões isoladas e na ampliação do cenário de geração distribuída (REN21, 2020). A eficiência de conversão de placas solares comerciais, bem como dos demais equipamentos que compõem o sistema, vem aumentando concomitantemente ao decréscimo dos custos de implantação, o que torna essa fonte de energia a cada ano mais viável e atrativa para aplicações residenciais.

Paulista, Machado e Rangel (2017) analisaram dados de 2015 da IEA (*International Energy Agency*) que apontam que o Brasil ainda não tinha uma geração expressiva de energia solar fotovoltaica, enquanto alguns países já em 2013 e 2014 geravam montantes consideráveis de eletricidade por meio do Sol. Segundo os autores, cabe ao governo brasileiro realizar leilões para instalação de parques de geração solar – alguns já realizados nos últimos anos - e incentivos, de modo que exista produção nacional de placas fotovoltaicas e demais equipamentos, além de investimento em geração fotovoltaica a níveis residenciais, comerciais e industriais. Essas ações seriam uma forma de agregar na redução das emissões de CO<sub>2</sub>

associadas ao PIB per capita, diretamente ligadas ao consumo energético no país. Segundo a ABSOLAR (2019) o setor fotovoltaico vem crescendo e batendo recordes ano a ano, chegando a marca de 4GW de potência instalada em 2018, sendo que 60,69% dessa capacidade se concentra em sistemas de geração centralizada, nas chamadas usinas solares. A IEA (2020), contabilizou 111,6GW instalados e que mostra a evolução do setor fotovoltaico nos últimos anos, com destaque para os países com as maiores capacidades instaladas na Figura 08. O Brasil não faz parte do Programa de Sistemas Fotovoltaicos da Agência Internacional de Energia, mas tem destaque entre a geração dos países sul-americanos, chegando a ficar entre os 10 maiores mercados FV em 2017 (IEA, 2020).

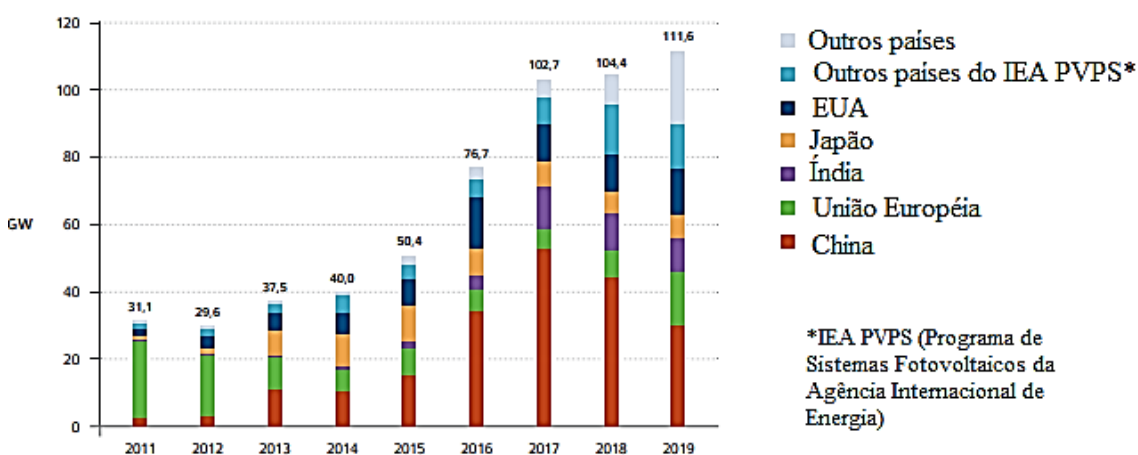


Figura 08 – Evolução anual da potência FV instalada no Mundo. Fonte: Traduzido de IEA (2020, p.12)

### 7.2.3. Sistemas solares híbridos

Das, Kumar e Sandhu (2020) definem sistemas solares híbridos como aqueles compostos pela geração FV combinada ao sistema de aquecimento de água até 60°C. Os autores estudaram o desempenho de um chamado painel híbrido PV-T, que possui em sua superfície células fotovoltaicas produtoras de energia e abaixo delas, uma serpentina com trocador de calor com fluido *Mobiltherm* para aquecer água para banho. As eficiências encontradas para o sistema PV-T proposto foram de 13,5% e 47,24% respectivamente. O baixo incremento de desempenho combinado a maior complexidade e custo desse tipo de tecnologia, faz com que sistemas PV-T ainda não sejam comercialmente bem aceitos mundialmente.

Castro (2015) analisa em seu trabalho a viabilidade econômica de sistemas solares híbridos compostos por geração fotovoltaica e aquecimento solar por coletores convencionais, comparando o investimento à tarifa de eletricidade das distribuidoras em cada capital estadual, no Distrito Federal e na cidade de Campinas (SP). O autor analisa os sistemas em três

configurações: fotovoltaico puro (que utiliza eletricidade até para aquecimento de água do banho), híbrido conectado à rede e híbrido isolado da rede. A conclusão é de que os sistemas híbridos conectados possuem 62,6% de viabilidade em relação aos híbridos isolados e 135,96% em relação aos fotovoltaicos puros.

Os sistemas foram dimensionados com o auxílio dos *softwares* PVSyst e Dimensol e cotados em lojas do ramo com *e-commerce*. O custo com energia elétrica foi definido com base na tarifa definida pela ANEEL, do valor médio do PIS cobrado pelas distribuidoras e da alíquota estadual aplicada em cada unidade da federação. Os cálculos apontaram que apenas Macapá (AP) e Boa Vista (RR), dentre as cidades estudadas, possuíam tarifas com custos baixos ao ponto de não proporcionar uma economia nos sistemas de autogeração de eletricidade e calor a partir do sol. Os resultados para cidades com tarifas de eletricidade mais alta, como Belo Horizonte (MG) e Belém (PA), estimam que os usuários poupariam um montante bastante atrativo em suas faturas de energia elétrica.

### 7.3. Sistema híbrido: solar – biodigestão

A maior desvantagem em relação ao aproveitamento da energia solar é o fato de sua suscetibilidade a disponibilidade de Sol, o que geralmente demanda a instalação de um banco de baterias, no caso de instalações solares fotovoltaicas, ou de um sistema alternativo de aquecimento de água e cocção de alimentos (resistência elétrica ou gás, normalmente) no caso de instalações solares térmicas. A hibridização de um sistema que tem como principal fonte de energia o Sol, é uma das soluções para suprir as demandas energéticas nos momentos de sua indisponibilidade (dias de chuva, noites). O contrário também é válido: para regiões com invernos rigorosos, a temperatura pode ser baixa o suficiente para parar a produção de biogás e, alternativamente, o sol pode ser utilizado como fonte energética.

Em um sistema híbrido solar - biodigestão com uma parcela de energia advinda de biogás, é possível, além de usar o biogás para a cocção de alimentos, utilizar o combustível como fonte complementar para aquecer água e até gerar eletricidade, aumentando a autonomia da unidade geradora / consumidora de energia. Tudo é questão de um correto dimensionamento e da disponibilidade de recursos alinhados ao consumo inteligente local.

A utilização do sol e do biogás como fontes renováveis complementares é uma prática em estudo em países em desenvolvimento como a China, quando Wang et al. (2017) propuseram para a área rural a utilização de lixo orgânico como fonte de biogás a ser complementada por solar para aquecimento, combustível e geração de eletricidade. Neste sistema, a energia solar foi incluída como uma das fontes de aquecimento durante um processo de digestão anaeróbica e um modelo matemático foi desenvolvido para avaliar a influência das características operacionais e a viabilidade técnica econômica do sistema.

Bansal, Salini e Khatod (2014) estudaram a hibridização solar-biogás como fonte energética para a cocção na Índia rural, em que muitas pessoas cozinham com fogões a lenha ineficientes. A proposta desse estudo, também desenvolvido e modelado em *Matlab*, é combinar fornos e fogões solares com fogões a biogás de modo a solucionar os problemas energéticos de cozimento em alguns distritos do país.

Outra publicação relacionada intimamente com a proposta desse trabalho é o estudo em que Rahman (et al., 2014) avalia a viabilidade de sistemas híbridos solar-biogás como solução para a falta de eletricidade e condições precárias de cozimento de grande parte das populações dos países em desenvolvimento. Os autores consideram apenas o cenário rural, em que além dos resíduos humanos, esterco de gado pode ser utilizado como potencial fonte de biogás e, a depender da escala de produção, este pode ser combustível para a geração de eletricidade além do cozimento. O trabalho avalia a viabilidade técnico-econômica do sistema proposto frente as demandas energéticas das residências rurais utilizando a ferramenta HOMER com base em 72 unidades em funcionamento. O estudo concluiu que os agregados familiares que têm entre três e seis cabeças de gado podem potencialmente satisfazer as suas cargas de cozimento e eletricidade através de uma implementação híbrida dos sistemas fotovoltaicos e de biogás.

## **CAPÍTULO 3 – ARTIGO - Potencial energético do setor residencial brasileiro – avaliação do cenário atual e alternativas para um futuro de autogeração sustentável**

### **RESUMO**

Este artigo analisa o panorama atual dos sistemas energéticos residenciais do Brasil e explora o potencial de autoprodução das residências como solução para alguns problemas atuais no âmbito ambiental e de acessibilidade e segurança energética. A partir de dados sobre o consumo doméstico de energia, de revisão de programas de incentivo e legislação acerca do tema, bem como de estimativas de potenciais de aproveitamentos energéticos, foi possível proceder uma avaliação do potencial técnico de aplicação de microssistemas energético-residenciais. A autoprodução fotovoltaica de eletricidade combinada – ou não- com sistemas de aquecimento solar nas casas brasileiras possuem potencial de redução de 7% do consumo elétrico nacional, enquanto a utilização do biogás para cocção em residências sem coleta de esgoto doméstico pode reduzir em 4% o consumo de GLP brasileiro e resolver questões de saneamento para até 32% da população. Portanto, o trabalho resulta em uma proposta de uma inserção na temática da busca por sustentabilidade energética e representa um esforço inicial em chamar atenção para a possibilidade de replanejamento energético a partir da autoprodução residencial, apontando caminhos possíveis para políticas públicas fomentarem, com incentivos e investimentos, soluções promissoras para temática energia e meio ambiente.

**Palavras-chave:** geração distribuída, energia solar, biodigestor, sustentabilidade energética residencial, planejamento energético, planejamento territorial.

### **1. Introdução**

Atender à demanda mundial por energia democrática, segura e sustentável é um objetivo comum a todas as nações, cuja importância se maximiza frente à grande relação entre qualidade de vida das populações, abastecimentos energéticos nacionais e as recentes mudanças climáticas mundiais. No entanto, a garantia de Energia Acessível e Limpa para todos, um dos



17 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU, representa um grande desafio. Ainda em 2010, Kowsari e Zerriff (2011) estimaram que um quarto da população mundial não tinha acesso à eletricidade, dos quais 80% residiam em áreas rurais de países em desenvolvimento. No mesmo ano, a IEA (2010) fez projeções de que até 2030 serão 1,4 bilhão de pessoas sem acesso à energia elétrica no mundo. No Brasil, ainda que o Programa Luz para Todos<sup>3</sup> tenha reduzido a cerca de 800 mil o número de brasileiros sem acesso à eletricidade até 2017 (IEMA, 2019), são muitas as pessoas que ainda vivem sob condições precárias de eletrificação e cocção no país, principalmente quando consideradas as comunidades isoladas e as populações de baixa renda.

Para além desta problemática da insuficiência na oferta de energia, existe ainda uma outra, tão relevante quanto: o fato de o setor energético ser responsável por ao menos dois terços das emissões de GEE mundiais (IEA, 2016), degradar paisagens e consumir recursos naturais de maneira considerável. Dada a emergência climática que o planeta atravessa, e inclusive o ambicioso, mas necessário, objetivo – consagrado no Acordo de Paris em 2015 (IEA, 2016) e ratificado pela EU – de limitar as alterações climáticas a menos de 2° (chegando o mais próximo possível de 1,5°), faz-se necessário reduzir o consumo de energia em todos os setores (Lorek e Spangenberg, 2019a).

É nesse sentido que o setor residencial, responsável pelo consumo de 21,9% da energia no Brasil em 2019 (BRASIL, 2020a), pode – e deve – ser considerado, tanto para redução dos impactos ambientais causados pelo consumo energético quanto para melhora da oferta energética em determinadas localidades. Apesar de ter uma das maiores desigualdades de renda mundiais e sua consequente pluralidade de realidades no que diz respeito a hábitos e qualidade de vida (IBGE, 2020; ELETROBRÁS / PROCEL, 2019), o Brasil tem, na utilização de fontes renováveis e de aproveitamento local de energia uma alternativa interessante, pertinente e adequável a grande parte da população nacional. Isso se deve às condições climatológicas, de moradia e sociopolíticas de organização do país, que favorecem o cenário da autoprodução energética residencial.

A Empresa de Pesquisa Energética (EPE), vinculada ao Ministério de Minas e Energia, realiza estudos e divulga dados acerca do cenário energético nacional de forma recorrente e concisa. Neste sentido, o Balanço Energético Nacional anualmente publica informações sobre a

---

<sup>3</sup> O Programa Luz para Todos é uma política social federal de abastecimento energético, executada desde 2003. Em 2010 ainda eram 2,43 milhões de brasileiros sem acesso à energia elétrica.

evolução do consumo final de energia nos domicílios nacionais ao longo dos anos. A Figura 01 (retirada do BEN 2020) faz notável o crescimento da demanda por eletricidade e GLP nas últimas décadas (o consumo de lenha cai drasticamente entre os anos de 1970 e 1990, mas ainda representa uma parcela significativa da energia doméstica).

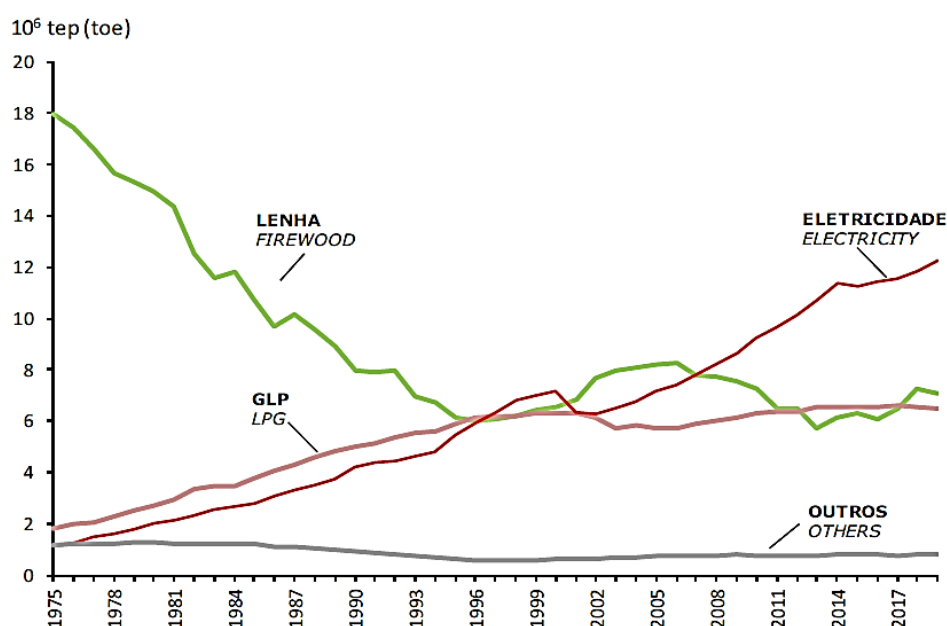


Figura 01 – Consumo Final no Setor Residencial brasileiro ao longo dos anos. Fonte: BRASIL (2020a, p.80.)

Assim sendo, este artigo trata da análise de alternativas para a autoprodução energética em residências brasileiras considerando (i) a qualidade de vida, (ii) os diferentes contextos sociais e de tipos de moradias e (iii) o arcabouço legal existente e as políticas públicas necessárias para que a população passe a ser parte ativa da transição energética para sistemas de baixa emissão de carbono.

## 2. Materiais e métodos

A presente pesquisa configura um trabalho de cunho teórico, em que análises quanti e qualitativas são decorrentes da execução de duas etapas metodológicas para obtenção de estimativas teóricas acerca do potencial de autoprodução energética do setor residencial brasileiro. A área de estudo contempla todo o território nacional e os principais materiais

consultados, bem como os métodos de desenvolvimento do trabalho estão descritos de forma detalhada nessa sessão e se organizam de forma visual no fluxograma da Figura 02.

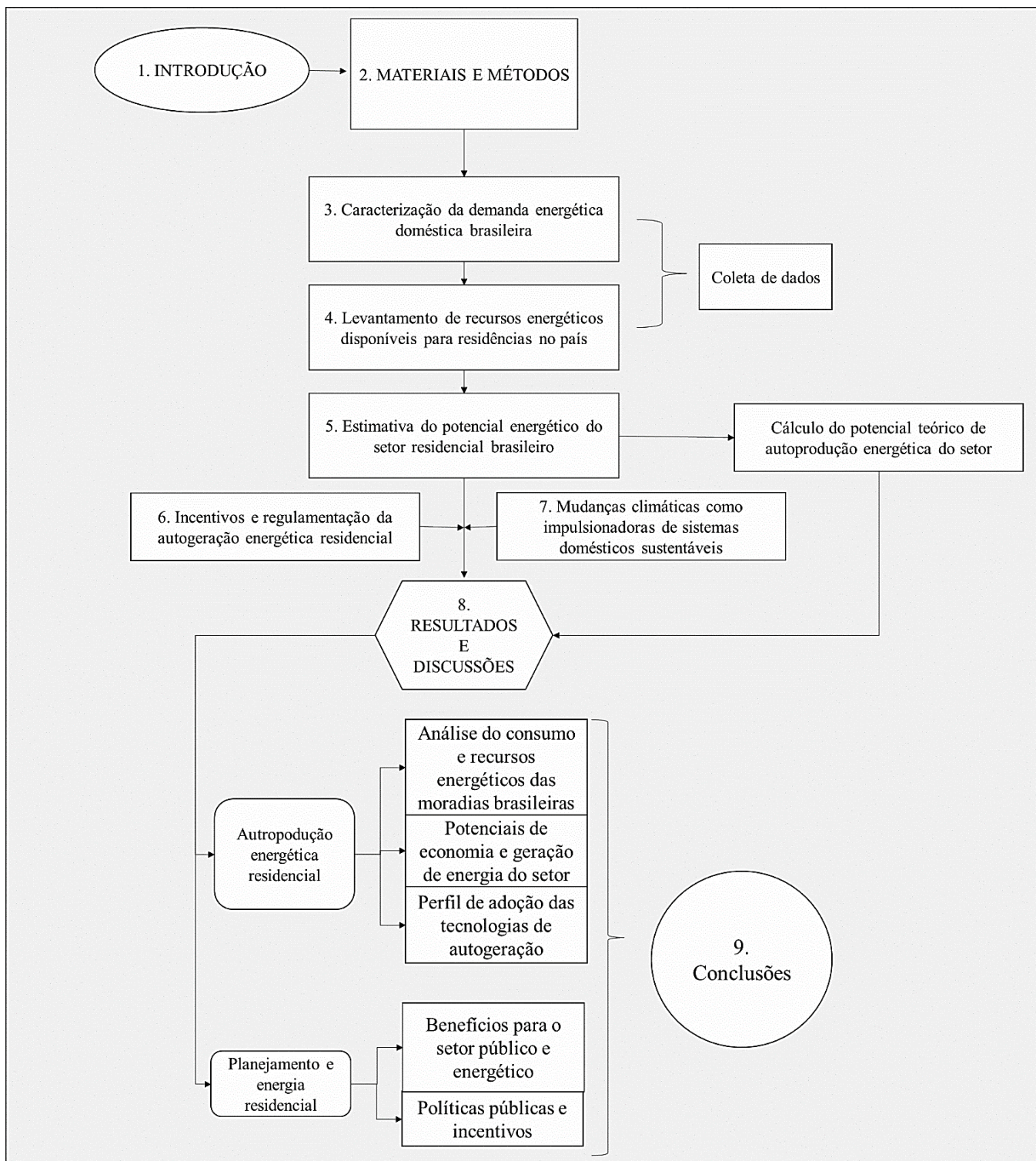


Figura 02 – Fluxograma de metodologia do trabalho.

A caracterização das demandas energéticas das residências brasileiras tem como base de consulta os documentos relacionados na Tabela 01. A partir deles, foi possível levantar os consumos energéticos médios das residências brasileiras, considerando as regiões, as classes sociais, as moradias rurais e urbanas e condições de coleta de esgoto.

Tabela 01 – Relação de materiais estudados.

<b>Material - Fonte de dados</b>	<b>Ano de publicação</b>	<b>Órgão responsável</b>
Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua (PNAD-2019)	2019	IBGE
Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios 2013 (PNAD-2013)	2014	IBGE
Sinopse Censo Demográfico 2010	2010	IBGE
Balço Energético Nacional de 2020 (BEN 2020)	2021	EPE
Pesquisa de Posses e Hábitos de Uso de Equipamentos Elétricos na Classe Residencial (PPH)	2019	ELETROBRAS/ PROCEL
Pesquisa de Posses e Hábitos de Uso de Equipamentos Elétricos na Classe Residencial (PPH)	2005	ELETROBRAS/ PROCEL
Atlas brasileiro de energia solar	2017	INPE

Em paralelo, foram coletados dados geográficos para a avaliação dos recursos energéticos disponíveis para as residências do país, buscando fazer recortes e considerações acerca da variação dos recursos quando se leva em consideração casas e apartamentos, moradias isoladas ou em adensados urbanos. Portanto, estes dois primeiros passos do desenvolvimento do trabalho têm foco na seleção de dados e nas condições de contorno que eles representam.

Na sessão 5 do trabalho os dados coletados são equacionados para possibilitar as estimativas (i) do potencial de economia de eletricidade que os Sistemas de Aquecimento Solar (SAS) podem proporcionar ao setor energético, (ii) do potencial de geração Fotovoltaica (FV) de energia das casas brasileiras e (iii) do potencial de produção de biogás para cocção das residências sem coleta de esgoto. Em seguida, são elencados os atuais incentivos e aspectos legais e normativos que envolvem as alternativas para autoprodução de energia abordadas nesse trabalho. O capítulo 7, por sua vez, trata das mudanças climáticas como impulsionadoras de sistemas de autoprodução de energia residencial e dos argumentos ambientais para que os planejamentos energético e territorial incluam essa solução como parte do enfrentamento às emergências climáticas.

Por fim, os resultados e análises são discutidos, e as alternativas para a autoprodução energética em alguns recortes das residências brasileiras – bem como as adequações necessárias no setor energético, na legislação, e os incentivos econômicos e sociais para que o planejamento

territorial conte com essa transição energética e seus benefícios – são comentados. As conclusões a que esse artigo pode chegar dizem principalmente sobre (i) a capacidade doméstica de autoproduzir a energia utilizada localmente, (ii) os impactos que essa possibilidade traria para o setor energético brasileiro e para as questões ambientais, (iii) as necessidades de adequação no planejamento territorial nacional e (iv) as políticas públicas que permitiriam que a transição energética para fontes renováveis fosse uma realidade para as residências brasileiras.

### **3. Caracterização da demanda energética doméstica no Brasil**

O consumo domiciliar de energia é influenciado por fatores tecnológicos, econômicos, sociais, psicológicos e comportamentais (KOWSARI & ZERRIFFI, 2011). Sendo assim, qualquer busca por definir um perfil médio único para o uso energético das residências brasileiras está fadada à imprecisão. Isto se deve, em muito, a características próprias do país, tais quais o tamanho continental do seu território, sua enorme diversidade cultural (KAUARK, BARROS & MIGUEZ, 2015), a variedade de condições climáticas e fontes energéticas, além da já citada altíssima desigualdade social (IBGE, 2020), dentre outras.

Frente a isso, a fim de esboçar um padrão de consumo energético nas moradias nacionais que torne possível analisar a viabilidade de autoprodução energética sustentável no país de um modo geral, foram utilizados dados publicados pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL) e Centrais Elétricas Brasileiras S.A. (ELETROBRAS) – todas entidades vinculadas ao Ministério de Minas e Energia do Brasil. Desta forma, a partir destas informações, é possível proceder uma análise qualitativa a respeito da autogeração sustentável de energia nos capítulos seguintes.

#### **3.1. Dados selecionados**

Os primeiros dados levantados para a análise da energia residencial brasileira estão apresentados na Tabela 02, e constituem a caracterização dos domicílios nacionais feita regularmente pela Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua (PNAD) (IBGE,

2019). A PNAD 2019 informa que 72,5% dos domicílios brasileiros são próprios de um dos seus moradores, 18,3% são alugados e o restante é cedido – informações bastante relevantes para análises quanto à possibilidade de investimento em sistemas de autoprodução de energia residencial. O relatório ainda aponta para níveis de 99,8% de domicílios brasileiros com acesso à eletricidade – 99,5% com conexão com a rede elétrica e apenas 0,3% contando com geração de eletricidade exclusiva de alguma fonte alternativa. A maioria dos domicílios isolados da rede elétrica se encontra na região norte e estão em locais remotos, de modo que a conexão com a rede se apresente inviável (IBGE, 2019).

Tabela 02 – Caracterização dos domicílios no território nacional. Fonte: IBGE (2019).

	<b>Domicílios</b>	<b>%</b>	<b>Casa</b>	<b>%</b>	<b>Apartamento</b>	<b>%</b>	<b>Outro</b>	<b>%</b>
<b>Brasil</b>	72.395.000	100%	61.991.000	85,6%	10.278.000	14,2%	126.000	0,2%
<b>Norte</b>	5.410.000	7%	5.035.000	93,1%	359.000	6,6%	16.000	0,3%
<b>Nordeste</b>	18.959.000	26%	17.276.000	91,1%	1.656.000	8,7%	27.000	0,1%
<b>Sudeste</b>	31.519.000	44%	25.322.000	80,3%	6.133.000	19,5%	64.000	0,2%
<b>Centroeste</b>	5.561.000	8%	5.033.000	90,5%	514.000	9,2%	14.000	0,3%
<b>Sul</b>	10.946.000	15%	9.325.000	85,2%	1.621.000	14,8%	-	0,0%

Em contraste com os altos níveis de eletrificação residencial, a PNAD (IBGE, 2019) traz a informação de que apenas 68,3% dos domicílios nacionais possuem ligação de esgoto à rede geral, ou fossa séptica ligada à rede geral, sendo as regiões Norte e Nordeste as mais afetadas pela falta de saneamento, totalizando 13,9 milhões de domicílios sem coleta de esgoto. Os percentuais de lares conectados à rede geral por região está na Tabela 03.

Tabela 03 – Domicílios no território nacional conectados à rede geral de esgoto. Fonte: IBGE (2019).

<b>Coleta de esgoto por região</b>	
<b>Brasil</b>	68,3%
<b>Norte</b>	27,4%
<b>Nordeste</b>	47,2%
<b>Sudeste</b>	88,9%
<b>Centroeste</b>	60,0%
<b>Sul</b>	68,7%

Em uma análise mais específica, a Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES) publica anualmente o Ranking da Universalização do Saneamento. A partir dos indicadores de abastecimento de água, coleta e tratamento de esgoto, coleta e destinação adequada de resíduos sólidos, o ranking identifica quão próximo os municípios estão da universalização do saneamento (100% da população atendida). A edição de 2021 considera

1.670 municípios brasileiros, que representam cerca de 70% da população do país e 30% dos municípios brasileiros que forneceram ao SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – as informações para o cálculo dos indicadores utilizados no estudo (ABES, 2021). As cidades são classificadas entre pequeno e médio porte (quando contam menos de 100 mil habitantes) e como grande porte, quando a população excede os 100 mil.

Dos municípios incluídos neste último estudo da ABES (2021), 66,23% se enquadraram na categoria “Empenho para universalização”, para a qual a soma dos indicadores pontua entre 200 e 449,99, sendo os piores índices aqueles que dizem respeito ao tratamento e coleta de esgoto (com 50,43% e 55,82% de cobertura, respectivamente). O cenário é semelhante quando são analisadas as capitais dos estados: 48,15% se encontram como “Empenho para universalização”, enquanto apenas Curitiba está efetivamente no estágio de “Rumo à universalização” (com pontuação acima de 489). Por outro lado, Belém e Porto Velho ainda se enquadram em “Primeiros passos para universalização” com alarmantes índices de 3,53% e 2,26% de tratamento de esgoto (ABES, 2021).

Outra fonte de informações relevante para este trabalho é o Balanço Energético Nacional de 2020 (BEN), publicado pela EPE (BRASIL, 2020a). Tendo como base o ano de 2019, o estudo revela informações interessantes do perfil residencial de consumo energético no Brasil. Primeiramente, é relevante considerar que 58,1% da energia utilizada nas moradias do país se concentra nas regiões Sudeste (SE) e Centroeste (CO), enquanto apenas 8,4% do consumo está na região Norte (N). O Nordeste possui 17,9% e o Sul nacional representa 15,6% do consumo residencial nacional, que totalizou 26,6 Mtep em 2019, dos quais 54% se destinam a cocção. Os dados gerais do consumo de energia nas residências brasileiras apontam para um crescimento do consumo per capita de eletricidade, de 548kWh/hab.ano em 2009 para 676kWh/hab.ano em 2019, enquanto o consumo final de energia para cocção e total se mantiveram relativamente estáveis nos últimos dez anos, chegando em 2019 com 0,126 tep/hab.ano de consumo final, dos quais 0,068 tep/hab.ano são usados para a cocção. O balanço contabilizou 6.499 mil tep (10.636 mil metros cúbicos) de GLP e 7.080 mil tep de lenha consumidos em 2019 pelo setor residencial. Do total de 142.572GWh consumidos residencialmente como eletricidade no país, apenas 642GWh foram produzidos localmente, segundo o relatório da EPE (BRASIL, 2020a).

Com relação à situação de domicílio e localização, o último Censo Demográfico do Brasil (IBGE, 2010) é o documento que melhor retrata a distribuição da população no território

nacional. Dos 190.755.799 brasileiros domiciliados, 84,36% vivem em áreas urbanas, sendo os graus de urbanização para cada região demonstrados no Gráfico 01. Em números absolutos, em 2010 eram 29.830.007 pessoas vivendo em regiões rurais, das quais 22,3% se organizam em aglomerados (povoados, núcleos e outros) e 47,8% se concentram na região Nordeste do país (IBGE, 2010).

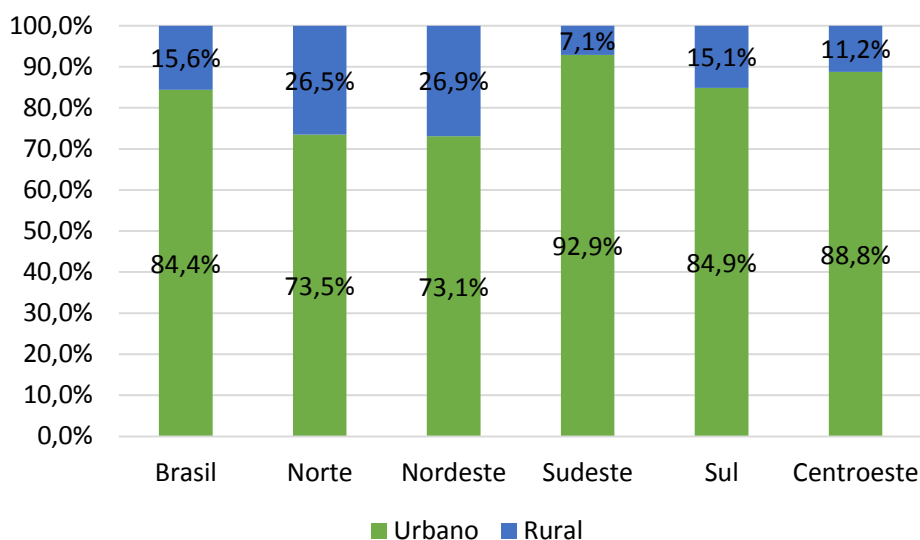


Gráfico 01 – Grau de urbanização da população por região. Fonte: IBGE (2010).

Sendo a eletricidade o principal consumo final das residências atualmente, o governo brasileiro criou, em 1985, o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica – PROCEL – que publica anualmente a Pesquisa de Posses e Hábitos de Uso de Equipamentos Elétricos na Classe Residencial (PPH), feita por meio de entrevistas em todo o território nacional. Além disso, o PROCEL tem um importante papel na classificação de equipamentos e na promoção da eficiência energética a nível residencial, visando a utilização mais racional da eletricidade no consumo doméstico brasileiro.

A partir de uma criteriosa pesquisa, com estimativas baseadas em estatísticas e uma amostra de domicílios chave proporcional à distribuição das classes sociais nas regiões administrativas do país, o relatório técnico da PPH- 2019 constitui rica fonte de dados para as análises deste trabalho, especialmente no que tange à formação do perfil de consumo dos sistemas energéticos residenciais (item 8.1.1.). Foram entrevistados 18.775 domicílios, e os resultados permitem vislumbrar perfis de consumo de eletricidade dos domicílios brasileiros. Dentre tantos, os dados mais relevantes do PPH-2019 para esse trabalho por região administrativa e gerais do Brasil seguem na Tabela 04, e os dados relacionados à distribuição de classes sociais, na Tabela 05.



Tabela 04 – Compilado de informações retiradas do PPH-2019. Fonte: ELETROBRAS/PROCEL (2019)

<b>Origem(ens) da Energia Elétrica Utilizada(s) no Domicílio (%)</b>						
	<b>Norte</b>	<b>Nordeste</b>	<b>Centroeste</b>	<b>Sudeste</b>	<b>Sul</b>	<b>Brasil</b>
Rede Elétrica (Concessionária)	99,66	99,95	99,76	99,11	97,92	99,48
Gerada no próprio domicílio	0,16	0,03	0,08	0,23	0,11	0,12
Rede Elétrica + autogeração	0,07	0	0,08	0,05	0,27	0,06
Não sabe/não respondeu	0,11	0,02	0,08	0,61	1,7	0,34
<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>
<b>Fonte(s) Própria(s) de Energia Usada(s) no Domicílio (%)</b>						
	<b>Norte</b>	<b>Nordeste</b>	<b>Centroeste</b>	<b>Sudeste</b>	<b>Sul</b>	<b>Brasil</b>
Eólica	20	50	0	27,27	0	17,65
Solar	10	50	25	18,18	57,13	26,47
Diesel / gasolina / gás	10	0	75	27,27	14,29	23,53
Sistema misto	20	0	0	0	0	5,88
Outra fonte	0	0	0	9,09	14,29	5,88
Não sabe/não respondeu	40	0	0	18,19	14,29	20,59
<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>
<b>Média do Consumo Mensal de Energia Elétrica do Domicílio (kWh)</b>						
	<b>Norte</b>	<b>Nordeste</b>	<b>Centroeste</b>	<b>Sudeste</b>	<b>Sul</b>	<b>Brasil</b>
Janeiro	198,59	117,43	183,28	144,06	211,42	155,34
Fevereiro	212,32	117,92	178,94	141,11	199,65	159,32
Março	211,23	119,19	179,98	140,58	199,1	160,18
Abril	212,54	119,29	176,72	140,73	192,63	156,25
Maió	206,11	117,86	177,36	140,66	199,75	158,41
Junho	209	119,25	175,51	140,8	203,44	160,39
Julho	208,78	115,81	175	141,3	192,87	154,01
Agosto	212,85	118,29	175,41	141,87	197,87	160,74
Setembro	213,68	116,09	175,95	142,16	201,6	162,47
Outubro	217,99	117,85	177,13	142,86	194,85	159,61
Novembro	214,91	121,93	179,41	141,73	195,44	164,85
Dezembro	213,8	121,16	186,75	140,35	196,99	165,25
	210,98	118,51	178,45	141,52	198,80	159,74
<b>Distribuição de classes sociais dos domicílios entrevistados (%)</b>						
	<b>Norte</b>	<b>Nordeste</b>	<b>Centroeste</b>	<b>Sudeste</b>	<b>Sul</b>	<b>Brasil</b>
Classe A	2,04	1,16	3,96	3,69	3,31	2,48
Classe B1	2,99	2,18	6,04	6,9	6,29	4,28
Classe B2	10,99	10,2	19,92	22,78	21,44	15,43
Classe C1	13,97	15,2	22	26,88	29,33	19,67
Classe C2	28	24,11	26,04	23,97	24,32	25,27
Classe D/E	42,01	47,15	22,04	15,78	15,31	32,87
<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

Tabela 05 – Dados do PPH-2019 por classe social. Fonte: ELETROBRAS/PROCEL (2019)

<b>Média do Consumo Mensal de Energia Elétrica do Domicílio (kWh)</b>						
	<b>A</b>	<b>B1</b>	<b>B2</b>	<b>C1</b>	<b>C2</b>	<b>D/E</b>
Janeiro	315,65	293	227	190,58	148,32	107,81
Fevereiro	328,34	295,27	236,65	186,93	153,68	110,27
Março	326,44	291,62	233,25	189	155,66	110,57
Abril	306,82	301,5	222,06	185,26	153,42	110,33
Mai	319,11	288,75	228,58	186,88	153,86	110,85
Junho	319,26	299,84	232	189,78	155,29	111,42
Julho	296,21	310,36	220,86	183,28	151,49	107,89
Agosto	322,05	303,6	233,63	190,29	154,96	110,8
Setembro	346,08	302,66	235,14	190,22	158,34	111,27
Outubro	319,09	291,72	237,08	188,41	154,86	112,08
Novembro	340,83	298,6	237,5	188,93	161,34	115,47
Dezembro	352,53	296,37	238,16	191,85	161,24	114,04
<b>Características dos domicílios entrevistados por classe econômica</b>						
	<b>A</b>	<b>B1</b>	<b>B2</b>	<b>C1</b>	<b>C2</b>	<b>D/E</b>
Casa	92,06%	92,16%	93,68%	95,32%	96,99%	97,12%
Apartamento	7,94%	7,84%	6,29%	4,63%	2,93%	2,72%
A média (m <sup>2</sup> )	144,49	120,39	92,55	76,94	65,51	51,81
<b>Origem(ens) da Energia Elétrica Utilizada(s) no Domicílio (%)</b>						
	<b>A</b>	<b>B1</b>	<b>B2</b>	<b>C1</b>	<b>C2</b>	<b>D/E</b>
Rede Elétrica (Concessionária)	99,36	99,63	99,31	99,57	99,53	99,45
Gerada no próprio domicílio	0,21	0,12	0,14	0,08	0,11	0,13
Rede Elétrica + autogeração	0,22	0,25	0,14	0,05	0	0,05
Não sabe/não respondeu	0,21	0	0,41	0,3	0,36	0,37
<b>Fonte(s) Própria(s) de Energia Usada(s) no Domicílio (%)</b>						
	<b>A</b>	<b>B1</b>	<b>B2</b>	<b>C1</b>	<b>C2</b>	<b>D/E</b>
Eólica	0,00	33,33	12,50	20,00	20,00	18,18
Solar	0,00	66,67	25,00	40,00	20,00	18,18
Diesel / gasolina / gás	0,00	0,00	25,00	20,00	20,00	36,37
Sistema misto	0,00	0,00	0,00	20,00	0,00	9,09
Outra fonte	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Não sabe/não respondeu	0,00	0,00	37,50	0,00	40,00	18,18
Parcela de Fonte própria por domicílio	17,65	26,47	23,53	5,88	5,88	20,59

Os dados do último relatório também apontam que 56,99% dos domicílios entrevistados não possuem aquecimento de água, sendo que a maioria destes estão nas regiões Norte e Nordeste do país, com respectivamente 93,28% e 90,61% de moradias que, devido às altas temperaturas, dispensam qualquer aquecimento (ELETROBRAS/PROCEL, 2019)

Lamberts (et al., 2010) realizaram um projeto chamado Casa Eficiente, que em parceria com o PROCEL (ELETROBRÁS/PROCEL, 2007) gerou dados interessantes para análises quanto ao consumo residencial de energia elétrica no Brasil. Conquanto baseado no PPH-2005, o estudo continua válido para análises atuais na medida em que mostra a distribuição do consumo dos principais equipamentos elétricos domésticos por região (Tabela 06). Também foram disponibilizados dados referentes às três faixas de consumo de eletricidade residencial para o Brasil e para cada região (Figura 03) e às fontes energéticas utilizadas para aquecimento de água de banho no Brasil (a) e no Sudeste (b) (Figura 04).

Tabela 06 – Consumo Final no Setor Residencial brasileiro por região. Fonte: ELETROBRAS/PROCEL (2007)

Equipamento / Região	Norte	Nordeste	Sudeste	Centroeste	Sul	Brasil
Condicionador de ar	40%	27%	11%	17,6%	32%	20%
TV	9%	11%	10%	7,2%	7%	9%
Som	3%	5%	3%	6,5%	3%	3%
Ferro	3%	3%	3%	2,6%	2%	3%
Geladeira	25%	29%	22%	23,4%	16%	22%
Freezer	4%	5%	5%	3,5%	7%	5%
Lâmpadas	14%	11%	19%	11,9%	8%	14%
Chuveiro	2%	9%	26%	26,6%	25%	24%
Lava-roupa			1%	0,5%		
Microondas				0,1%		
<b>TOTAL</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>

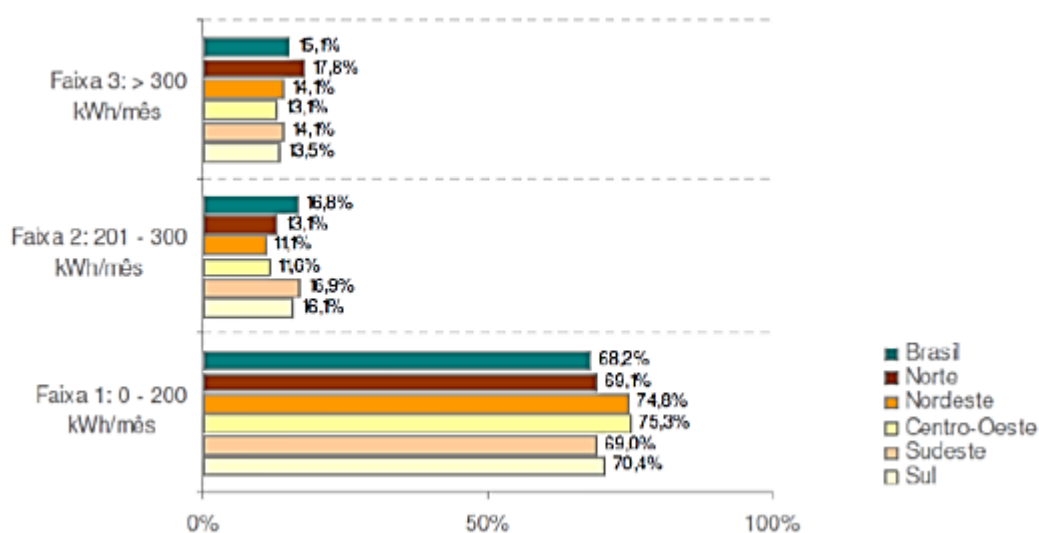


Figura 03 – Porcentagem da população para cada faixa de consumo de eletricidade. Fonte: ELETROBRÁS/PROCEL (2007)

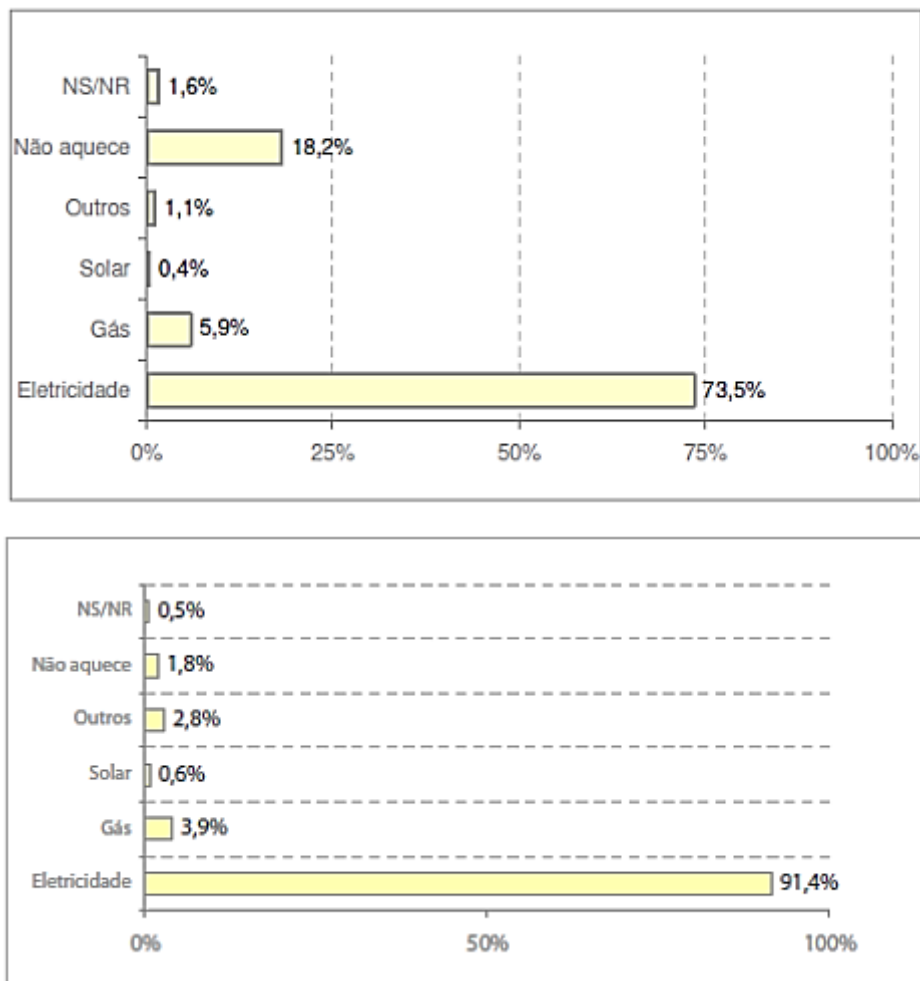


Figura 04 – Fonte de aquecimento de água para o banho (a) no Brasil; (b) no Sudeste. Fonte: PROCEL/ELETRORÁS (2007)

#### 4. Levantamento de recursos energéticos disponíveis nas residências brasileiras

O objetivo desta sessão é apontar recursos energéticos renováveis que podem ser usados na autoprodução de energia em grande parte das residências brasileiras. Ao passo que a análise precisa da disponibilidade de recursos locais só é viável quando considera cada unidade domiciliar em seus aspectos físicos, geográficos e sociais, foi levantada de forma geral, a disponibilidade de duas fontes energéticas relativamente abundantes nas moradias nacionais cujas justificativas seguem abaixo: o sol e os resíduos orgânicos (esgoto e lixo domésticos).

O sol, fonte renovável considerada limpa, pode ser fonte de energia elétrica a partir de sistemas Fotovoltaicos (FV) e de aquecimento de água a partir de trocadores de calor. Ambas as soluções têm, como captadores de energia, painéis que podem ficar no telhado das casas brasileiras –

que são o tipo de moradia de cerca de 62 milhões de habitantes (IBGE, 2019). Sendo o Brasil um país tropical, grande parte de seu território possui alta média de irradiação solar diária (Figura 05), o que viabiliza, técnica e financeiramente, a grande maioria dos sistemas solares (INPE, 2017).

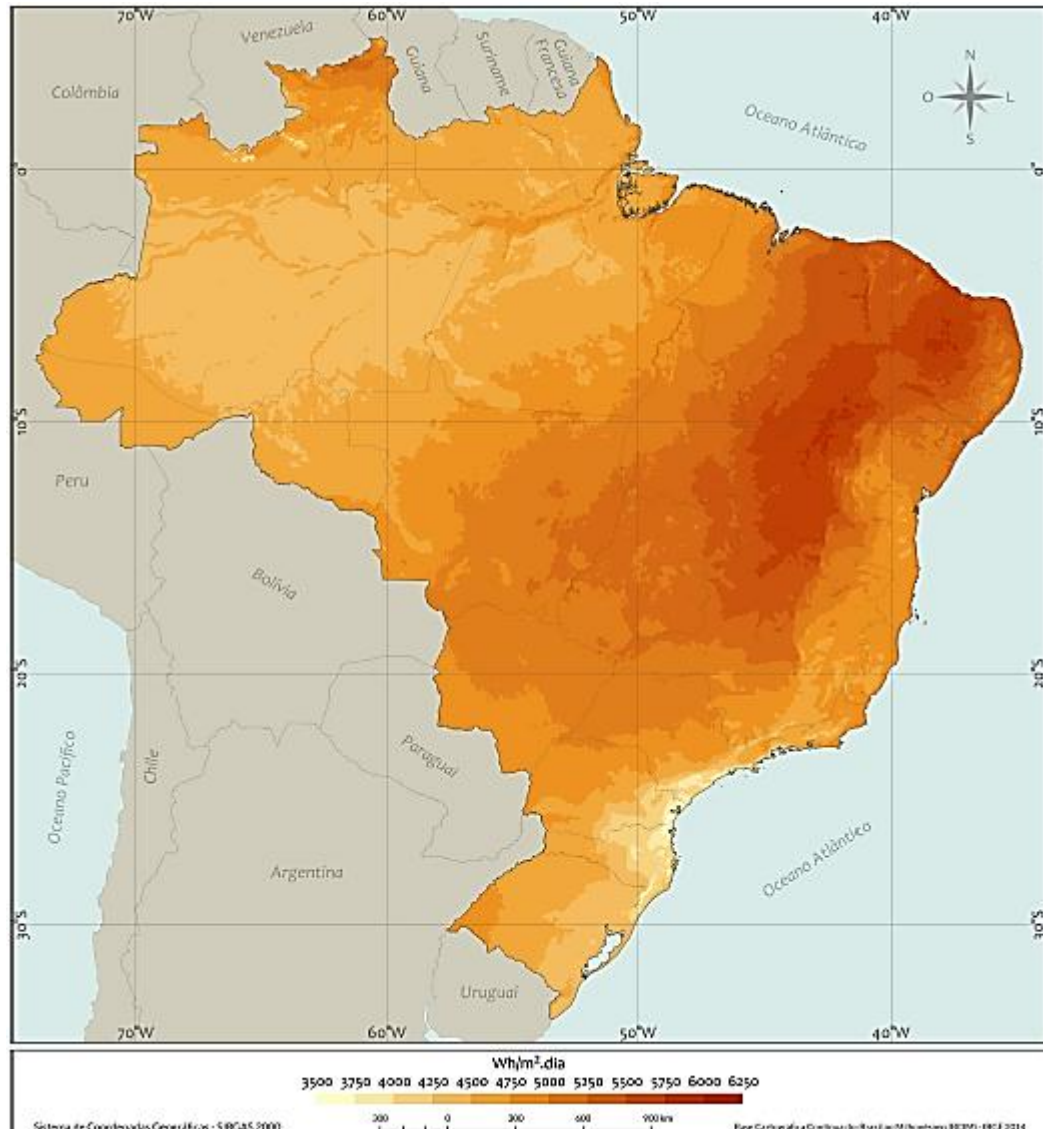


Figura 05 – Média anual do total diário de irradiação global horizontal. Fonte: INPE (2017, p.36.)

Já quanto aos resíduos orgânicos, podem ser considerados recursos energéticos para o setor residencial, basicamente, restos de alimentos e o esgoto doméstico (humano e animal). Por meio da digestão anaeróbia, resíduos orgânicos geram biogás, fonte considerada nesse trabalho como alternativa ao GLP para cocção em moradias rurais ou comunidades urbanas chamadas isoladas, isto é, que não possuem coleta ou tratamento de esgoto. Essa fonte energética foi selecionada por sua capacidade de contribuir em diversas esferas: econômicas e de saúde, para as famílias

que utilizarem o biogás em substituição ao GLP ou à queima de lenha (IEA, 2010); ambientais, com a redução no uso de combustíveis fósseis e melhor qualidade do solo e das águas subterrâneas devido ao tratamento de efluentes; e sociais, uma vez que a biodigestão proporciona ambientes com melhores condições tanto para os animais como para os seres humanos da residência ou propriedade rural.

Segundo o IBGE (2010), cerca de 36% das moradias urbanas não se conectam a rede geral de esgoto, tais quais as residências rurais. Esses domicílios se utilizam de fossas rudimentares (55%), sépticas (30,5%) ou ainda depositam o esgoto de forma direta em ruas ou corpos d'água (14,5%) (Landau e Moura, 2016). Diante disto, os biodigestores residenciais seriam uma solução viável energética e ambientalmente para grande parte dessas residências.

Berhe et al. (2017), Foell et al. (2011) e Bond e Templeton (2011) são alguns dos autores que discutem a utilização de biogás como alternativa energética sustentável, sobretudo para comunidades rurais de países em desenvolvimento. Em seus trabalhos, os autores analisam programas de disseminação e incentivo à tecnologia existentes na Ásia e na África, discorrendo sobre as vantagens e desafios encontrados por regiões que possuem biodigestores de escala residencial desde os anos 1970 até os anos 2010. Como principais pontos positivos destacam-se a segurança na cocção de famílias em situação de vulnerabilidade em razão da substituição de combustíveis mais danosos a saúde na cocção, a possibilidade do aproveitamento para geração de eletricidade, a utilização do lodo residual como biofertilizante e a gestão de resíduos sustentável, que tem impactos tanto localmente, com melhor qualidade da água e do solo, quanto regional e mundialmente, no que se refere à redução de emissões de GEE. As desvantagens ou limitações que se impõem à ampla utilização de biodigestores em nível residencial se refere especialmente à dificuldade das comunidades locais em executar manutenções regulares adequadas, bem como à falta de acompanhamento do Estado e de entidades de fomento à tecnologia após a implementação dos sistemas, o que costuma levar à desativação de cerca de uma a cada duas unidades produtoras de biogás a médio e longo prazo.

Esgoto humano pode ser uma fonte energética para a mistura de componentes orgânicos que, segundo Alves, Inoue e Borges (2010), produz mais e melhor biogás a partir da variedade de fontes. A NBR 13.969 (ABNT, 1997) prevê que o esgoto residencial produzido no Brasil varia entre 100 e 150 litros por dia por pessoa, a depender do padrão de consumo e estima que algo entre 20% e 30% são de águas negras, que contém fezes e urina, e portanto, potencial de geração de biogás.

Barreira (2011) descreve que a concentração de metano no biogás varia de 45 a 65%, sendo este o principal gás que confere ao combustível um alto poder calorífico, podendo chegar a 7.000kcal/m<sup>3</sup>, de acordo com a proporção de metano em sua composição. O autor equivale 1m<sup>3</sup> de biogás a 0,454 litros de GLP ou 1,536 quilogramas de lenha. Barreira (2011) fornece dados de que para produzir 1m<sup>3</sup> de biogás são necessários um dos itens colocados na Tabela 07.

Tabela 07 – Fontes energéticas a serem inseridas em biodigestores. Fonte: Barreira (2011).

<b>Matéria Orgânica</b>	<b>Peso (kg)</b>
Lixo orgânico	20
Folhas de plantas ou cascas de cereais	25
Esterco de vaca fresco	25
Esterco de galinha seco	5
Esterco de porco	12

Bond e Templeton (2011) compilam dados referentes ao potencial de produção de biogás das fontes mais comumente utilizadas na Tabela 08, e destacam a eficiência da utilização do esterco de porco e de vaca na produção de biogás. Considerando que a produção de biogás para fornecer a uma família de cinco membros duas refeições cozidas por dia é de 1500–2400 L (ISAT / GTZ, 1999), Bond e Templeton (2011) concluem que o volume mínimo de biogás a ser produzido para alimentar essa família demandaria ao menos um porco, cinco vacas, 130 galinhas ou 35 pessoas.

Tabela 08 – Potencial de produção de biogás por fonte. Fonte: Bond e Templeton (2011).

<b>Substrato</b>	<b>Produção diária (kg/animal)</b>	<b>%MS</b>	<b>Concentração de biogás (m<sup>3</sup>/kg MS)</b>
Esterco de porco	2	17	3,6-4,8
Esterco de vaca	8	16	0,2-0,3
Esterco de galinha	0,08	25	0,35-0,8
Excremento humano	0,5	20	0,35-0,5
Palha, grama seca		~80	0,35-0,4

Obviamente, o potencial de produção de biogás de uma residência varia de acordo com a quantidade de moradores, hábitos alimentares, se a propriedade cria animais ou produz matéria orgânica vegetal, se as águas negras são coletadas em separado do restante do esgoto e com a quantidade de lixo orgânico produzido também, dentre outras possíveis variáveis. No entanto, autores como Berhe (et al., 2017) e Rahman et al. (2014) afirmam que com quatro cabeças de

gado, em média, é possível produzir gás suficiente para cocção e para geração de eletricidade complementar ao sistema fotovoltaico, em se tratando da autonomia energética residencial a partir de sistemas híbridos para famílias de baixo padrão energético de consumo.

## 5. Estimativa do potencial energético do setor residencial brasileiro

Baseado nos dados coletados e analisados nos itens 3 e 4, esta etapa do estudo busca (i) definir os perfis de residência aptos a gerar eletricidade, aquecer água com o sol e produzir biogás para cocção, e (ii) estimar qual a quantidade de energia que o setor seria capaz de prover para o próprio consumo, de forma descentralizada e individual. Para isso, as seguintes premissas foram organizadas na Tabela 09.

Tabela 09 – Características adequadas aos sistemas de autoprodução energética.

	SFV	SAS	Biogás	Comentário / Justificativa
Meio Urbano	x	x	x	
Meio Rural	x (*)	x	x	(*) Como a tarifa de energia elétrica rural é mais baixa que a urbana, devem ser analisados caso a caso o tempo de retorno e viabilidade econômica para esses investimentos
Novas residências	x	x	x	
Residências existentes	x	x(*)	x(*)	(*) Residências existentes precisariam de obras civis e adaptações hidráulicas que possivelmente inviabilizam sistemas de SAS e produção de biogás. Ainda assim, serão consideradas adequadas para as tecnologias pois tecnicamente são – apenas precisam de mais incentivos.
Desconectados da rede elétrica e/ou de esgoto	x	x	x	
Conectados à rede elétrica e/ou de esgoto	x	x		A produção de biogás só é viável em sistemas desconectados da rede convencional de tratamento e coleta de esgoto – Majoritariamente áreas rurais.
Edifícios				Considerando que esse tipo de moradia possui baixa disponibilidade de telhado (ou área de alta incidência solar) por unidade residencial e que são, de modo geral conectados à rede de esgoto, edifícios foram excluídos das estimativas para autoprodução energética.



Além das considerações da Tabela 09, os potenciais teóricos de aproveitamento energético residencial foram estimados considerando as hipóteses adotadas expostas na Tabela 10.

Tabela 10 –Hipóteses adotadas para as estimativas de potencial de autoprodução energética.

<b>Hipóteses adotadas</b>	<b>SFV</b>	<b>SAS</b>	<b>Biogás</b>
Todas as casas existentes no Brasil – não considerada a expansão das residências ou que essas podem ser construídas já considerando as soluções de energia residencial	x	x	
Fator de Disponibilidade Solar (FDS) - Estimado que 10% de dias de irradiação insuficiente para o aquecimento, nublados ou com chuva – nesses dias os chuveiros provavelmente serão aquecidos com eletricidade		x	
Fator de Disponibilidade de Telhado (FDT) - Estimado que 10% dos telhados tenham inclinação exclusiva para o Sul – baixa irradiação - ou com grande fator de sombreamento inviabilizam os sistemas	x	x	
Casas com instalação de SAS -Menor demanda média de eletricidade (Cenário 2)	x		
Casas sem SAS - maior demanda elétrica (Cenário 1)	x		
Instalações bifásicas - Consumo mínimo de 50kWh/mês da concessionária (RN482 ANEEL)	x		
Todas as casas existentes no Brasil que não possuem coleta de esgoto			x
Média de moradores por domicílio e região segundo o PPH-19			x

### 5.1. Potencial de economia de eletricidade e de aquecimento solar de água das residências brasileiras

O Atlas Brasileiro do Energia Solar (INPE, 2017) enfatiza o uso solar para aquecimento residencial de água como uma alternativa aos sistemas elétricos e a gás, usados principalmente na região Centro Sul do país. O INPE (2017) aponta que os Sistemas de Aquecimento Solar (SAS) podem ter contribuição relevante nas metas climáticas brasileiras, uma vez que apresentam potencial de redução na demanda por eletricidade. Portanto, a autoprodução de água quente foi mensurada nesse trabalho como economia de eletricidade para o setor residencial – responsável pelo consumo anual de 142,6TWh (BRASIL, 2021).

Considerando que a aquisição de SAS é viável apenas em moradias do tipo casa (KONZEN, 2014), foi estimada a economia de eletricidade que esses sistemas podem atingir para o setor residencial, seguindo a equação 1.

$$EESAS = N^{\circ} \text{ CASAS} \times \text{MMER} \times \% \text{ CCH} \times \text{FDS} \times \text{FDT} \times \text{FCP} \quad (1)$$

EESAS – Economia de Eletricidade proporcionada por Sistemas de Aquecimento Solar

Nº CASAS – Número de Casas Brasileiras (Tabela 02)

MMER – Média Mensal de Eletricidade Consumida em uma Residência (Tabela 04)

%CCH – Parcela da Eletricidade Consumida por Chuveiros Elétricos (Tabela 06)

FDS – Fator de Disponibilidade Solar (estimado 10% de dias de irradiação insuficiente para o aquecimento, nublados ou com chuva – nesses dias os chuveiros provavelmente serão aquecidos com eletricidade)

FDT – Fator de Disponibilidade de Telhado

FCP - Parcela de Casas Próprias

Foi considerado um fator de disponibilidade de telhado (FDT), assumindo que uma parcela das casas não terá estrutura adequada para o aquecimento solar - como sombras, chaminés, caixas d'água, antenas e orientação exclusiva para o sul. Além deste, o Fator de casas próprias (FCP) multiplica o resultado, uma vez que apenas as casas na condição própria quitada ou em aquisição teriam a adesão desses sistemas que, segundo a EPE (2014a), não teriam benefícios financeiros para locatários de casas investirem em algo que traria economia apenas para os locadores, que por suas vezes não teriam interesse em investir em um sistema de infraestrutura em um bem que não é próprio. O FDT adotado foi de 85%, em acordo com a Nota Técnica 19/14 da EPE (2014a) que apresenta um estudo sobre a Inserção da Geração Fotovoltaica Distribuída no Brasil, enquanto o FCP tem por base o último censo (IBGE, 2010) e valor de 65%.

Apesar de ser uma estimativa otimista, uma vez que não considera as dificuldades arquitetônicas, construtivas e de investimentos cabíveis na implantação de tais sistemas nas mais diferentes residências, ela é viável tecnicamente e na prática pode vir a ser aplicável por

meio de incentivos do setor público, que passe a utilizá-la como uma meta almejável frente às emergências climáticas.

## 5.2. Potencial de geração fotovoltaica das residências brasileiras

Bastante semelhante aos SASs, os Sistemas Fotovoltaicos (SFV) residenciais têm muito potencial a ser explorado no Brasil, com maior entrave no custo do investimento, principalmente para as classes C, D e E. No entanto, com as condições climatológicas do país, números absolutos de casas e crises hídricas-energéticas se intensificando ano após ano, e a emergência climática geral (INPE, 2017), o aproveitamento FV residencial de eletricidade tende a crescer e ocupar um espaço significativo na matriz energética do país.

O potencial de geração FV residencial mensal e anual foi estimado para dois cenários: na equação 2, foi considerada a não difusão de SASs e a consequente necessidade de suprir a geração de eletricidade inclusive para os chuveiros elétricos, e, na equação 3, foi considerada a redução no consumo residencial de eletricidade estimada na sessão anterior em decorrência do uso dos SASs.

$$PFVR_1 = N^{\circ} \text{ CASAS} \times FDT \times FCP \times (\text{MMER}-50\text{kWh}) \quad (2)$$

PFVR<sub>1</sub> – Potencial de geração Fotovoltaica Residencial – Cenário 1 (sem utilização de aquecedores solares em casas existentes)

N<sup>o</sup> CASAS – Número de Casas Brasileiras (Tabela 02)

FDT – Fator de Disponibilidade de Telhado

FCP - Parcela de Casas Próprias

MMER – Média Mensal de Eletricidade Consumida em uma Residência (Tabela 04)

Foi subtraído 50kWh/mês, considerando que esse é o valor considerado de consumo mínimo pelas concessionárias para instalações bifásicas e cobrado independentemente da quantidade de geração FV. Como os dados referentes aos números absolutos de residências com ligação trifásica e bifásica não foram encontrados, assumiu-se todas as ligações como bifásicas, que são a maioria devido ao tipo de carga e consumo dos brasileiros.

$$PFVR_2 = N^{\circ} \text{ CASAS} \times FDT \times FCP \times ((MMER \times (1 - \%CCH)) - 50) \quad (3)$$

PFVR<sub>2</sub> – Potencial de geração Fotovoltaica Residencial – Cenário 2 (considerando que 90% das casas adotam SAS e FV)

N° CASAS – Número de Casas Brasileiras (Tabela 02)

FDT – Fator de Disponibilidade de Telhado

FCP - Parcela de Casas Próprias

MMER – Média Mensal de Eletricidade Consumida em uma Residência (Tabela 04)

%CCH – Parcela da Eletricidade Consumida por Chuveiros Elétricos (Tabela 06)

Para estimar a área média de telhado necessária para a geração FV residencial nos dois cenários, foram usados os dados da Tabela 04 (PPH-19) e da Figura 04 para dimensionar sistemas que se encaixem dentro de três faixas de consumo definidas pelo PROCEL (2007) e dados de Irradiação Global Média diária retirados do Atlas Brasileiro de Energia Solar (INPE, 2017).

Para todas as estimativas, foi considerada a área de painel FV de 2m<sup>2</sup> e o rendimento de 20% - médio nos produtos atuais - e um fator de perdas também de 20% (médio padrão em dimensionamentos de sistemas FV, considerando poeira das placas, poluição e sombras).

Foram considerados como consumo médio mensal das Faixas 1, 2 e 3, respectivamente, 150kWh/mês, 250kWh/mês e 350kWh/mês para o Cenário 1, independente da região do país, baseados na Figura 04. Com base também na Média do Consumo Mensal de Energia Elétrica do Domicílio por classe social (kWh) da Tabela 04, identificou-se como o consumo da Faixa 1 as classes C, D e E (que chegam a 70% da população e provavelmente não conseguiriam adquirir sistemas com recursos próprios); a Faixa 2 com o consumo da Classe B (classe média alta, com poder aquisitivo para financiar os sistemas FV) e a Faixa 3 de consumo como de perfil da Classe A, que tem mais facilidade em adquirir um sistema FV com recursos próprios. Para todas as faixas de consumo ainda foram descontados os 50kWh/mês de consumo mínimo – sem distinguir as residências com ligação trifásica.

Para o Cenário 2, os consumos médios foram estimados considerando a economia de eletricidade advinda dos SAS (com base na Tabela 05) e o FDS de 90%. O número de módulos

e a consequente área necessária para geração fotovoltaica residencial nos dois cenários para as três faixas de consumo e cada região do país foram estimados a partir da equação 4.

$$\#Módulos = \frac{(\text{Consumo Mensal} - 50)}{\text{Irradiação diária} \times 30 \times \text{Área un.} \times \text{Eficiência módulo} \times \text{Fator de Perdas}} \quad (4)$$

### 5.3. Potencial de produção de biogás para cocção das residências brasileiras

A estimativa do potencial de produção de biogás para cocção nas residências brasileiras leva em consideração duas possíveis aplicações para os biodigestores, que, além de estações de produção de biogás, podem ser alternativas ecológicas de destinação de resíduos sólidos orgânicos e de tratamento de esgoto doméstico: os biodigestores unifamiliares para residências rurais isoladas e os biodigestores para comunidades urbanas periféricas, desconectadas da rede de esgoto centralizada.

A utilização de biodigestores para produção de gás de cocção exige a separação das águas escuras (fezes e urina) do restante da rede de esgoto, o que, em geral, demanda obras civis nas casas existentes e tende a ser mais um desafio na difusão desses sistemas (TONETTI et al., 2018). Além disso, Bond e Templeton (2011) analisam que a necessidade de manutenção especializada, bem como de certos cuidados com o sistema (como a não inserção de produtos químicos na rede de esgoto ou de restos animais no biodigestor) são barreiras comumente enfrentadas por países em desenvolvimento que já adotaram programas de biodigestores, como, Índia, China e África do Sul.

Apesar dessas considerações preliminares, o potencial teórico de produção residencial de biogás e seu equivalente em GLP foram estimados com base nos dados colocados nas sessões 3 e 4, principalmente os contidos na Tabela 8, utilizando as equações 5 e 6.

$$PPBG = NDB \times (1 - \%CED) \times PDEH \times \%MS \times CMBG \times MMD \quad (5)$$

PPBG – Potencial de Produção de Biogás

%CED – Parcela de Coleta de Esgoto Doméstico

NDB – Número de Domicílios Brasileiros

PDEH – Produção Diária de Excremento Humano

%MS – Porcentagem de Matéria Seca no Excremento Humano

CMBG – Concentração Média de Biogás

MMD – Média de Moradores por Domicílio

$$\text{EGLP} = \text{PPBG} \times 0,000454 \times 12 \quad (6)$$

EGLP – Equivalente em GLP do PPBG, considerando o fator de conversão de biogás para metros cúbicos de GLP (BARREIRA, 2011) e doze meses ao ano

## 6. Incentivos e regulamentação atual da autogeração sustentável no Brasil

As alternativas de aproveitamento local de energia para o setor residencial apresentadas neste trabalho são consideradas sustentáveis e, portanto, interessantes, visto o cenário de mudanças climáticas mundiais que no Brasil já se faz notar por meio de estresses hídricos e as consequentes crises energéticas – devido à grande dependência da matriz elétrica nacional à fonte hidrelétrica (PAIM et al., 2019) – que se deram entre os anos de 2012 e 2015. Agora em 2021, o país enfrenta mais uma crise, nova e que pode se alastrar até 2025, sob risco real de aumento nos custos de eletricidade e possibilidades de apagões (CAMARA DOS DEPUTADOS, 2021a; O GLOBO; 2021).

A abrangência da autogeração energética nas residências brasileiras tem grande relação com as políticas e incentivos do setor público, uma vez que, apesar de ser interessante para os domiciliados, exige investimentos que são relativamente altos para grande parte da população do país. Essas políticas e incentivos, por sua vez, dependem de estudos e planejamento adequados para que possam ser realmente consolidadas e provoquem, assim, mudanças efetivas na adoção das alternativas energéticas de aproveitamento residencial, contribuindo para a construção de uma matriz energética mais resiliente e sustentável. Abaixo estão elencados, portanto, os aspectos legais e incentivos atuais para sistemas de aquecimento solar de água para banho, sistemas fotovoltaicos de geração de eletricidade residencial e biogás de uso doméstico como fonte de gás para cocção.

## 6.1. Aquecimento Solar de água

A ABRAVA (Associação Brasileira de Equipamentos de Refrigeração, Ar-condicionado, Ventilação e Aquecimento), em seu programa Cidades Solares, participou na comissão legislativa do Projeto de Lei 630 de 2003 e apresentou o potencial de economia de eletricidade que os SAS poderiam proporcionar para o setor elétrico e alguns projetos legislativos de fomento a ampla utilização do aquecimento residencial que existiam em 2008 (ABRAVA, 2008). Eram projetos que iam desde a isenção tributária na aquisição de sistemas de aquecimento até PLs que propunham um desconto na tarifa de eletricidade. No entanto, nenhum projeto citados pela apresentação da ABRAVA (2008) foi sancionado.

O que encontramos hoje no Brasil como incentivo aos sistemas de aquecimento são leis estaduais e municipais que, desde o início dos anos 2000, fornecem benefícios fiscais, obrigam novas residências a prepararem sua infraestrutura ou instalarem sistemas de aquecimento solar e obrigam que SAS sejam entregues em todas as novas moradias de interesse social e os novos prédios públicos (ABRAVA, 2008). Além delas, o programa de investimento habitacional para famílias de baixa renda Minha Casa Minha Vida (MCMV), disposto na Lei n.º 11.977/2009 por meio da portaria n. 465, de 03 de outubro de 2011 do Ministério das Cidades, determina que as moradias devem ter aquecedor solar custeado pelo programa (Coelho, 2014). Maia, Lima e Gomes (2019) contabilizaram 384.232 unidades do MCMV com aquecimento solar instalados entre 2009 e 2017, trazendo economia de eletricidade para as famílias e diminuindo a demanda por expansões no sistema elétrico nacional. Como parte da regulamentação dos SAS, podem ser consideradas a norma ABNT NBR 15569 (Santos, Scarabelot e Rampinelli, 2020) e o trabalho de etiquetagem e classificação de eficiência de placas de aquecimento realizado pelo PROCEL desde 1998 (ABRAVA, 2008).

## 6.2. Geração Fotovoltaica de eletricidade

A tendência de utilização de fontes renováveis e geração descentralizada é mundial e promissora no aspecto da transição energética para uma matriz de menor impacto de carbono. Portanto, cabe aos governos regulamentar, legislar e promover incentivos para a geração distribuída de acordo com seu planejamento e com o avanço das tecnologias disponíveis.

Recentemente o Projeto de Lei (PL) 5829, chamado de marco legal da Geração Distribuída, foi aprovado na Câmara dos Deputados em agosto e no Senado Federal. O PL votado em dezembro de 2021 busca reduzir o prejuízo que a expansão da GD pode causar às distribuidoras, organizando os consumidores em grupos e cobrando de cada um deles uma parte da TUSD (Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição) para a injeção de eletricidade excedente da geração na rede por meio do Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE) (CAMARA DOS DEPUTADOS, 2021b). Por outro lado, o projeto inclui a micro e mini geração de energia no REIDI (Regime Especial de Incentivos para o Desenvolvimento de Infraestrutura) e institui o Programa de Energia Renovável Social (PERS), o que permite benefícios fiscais para os sistemas FV de todo o país e um consequente aumento de atratividade financeira. (CANAL SOLAR, 2021). As novas regras terão o prazo de 12 a 24 meses para entrar em vigor sendo que, para os micro e minigeradores distribuídos já em operação, haverá um período de transição de 5 anos, a fim de manter os períodos de retorno de investimento de tais sistemas.

Silva (et al., 2018) fizeram na uma compilação das políticas que envolvem a geração distribuída no cenário brasileiro na Tabela 11, desde 2002, com a criação do PROINFA (Programa de Incentivo a Fontes Renováveis e Alternativas) até a Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012 (ANEEL, 2012) e sua revisão RN nº 687/2015 (ANEEL, 2015) como marcos regulatórios e o Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica (ProGD). Este último prevê, até 2030, um investimento de R\$ 100 bilhões e adesão de 2,7 milhões de unidades consumidoras e geração anual de 48 milhões de MWh (equivalente à metade de Itaipu em um ano). (Silva et al., 2018).



Tabela 11 – Marcos legais das políticas de Geração Distribuída (Adaptado de SILVA et al., 2018)

<b>Política</b>	<b>Ano</b>	<b>Ênfase</b>
Lei 9.247	1996	Redução não inferior a 50% nas tarifas de uso dos Sistemas de Transmissão e Distribuição
Convênio ICMS 101	1997	Isenção do ICMS nas operações com equipamentos e componentes.
Lei nº 10.438	2002	PROINFRA - Diferenciar os valores pagos as fontes de GD em relação a geração de fontes mais competitivas
Decreto de nº 5163	2004	Mostrou características da GD para as distribuidoras
Resolução Normativa ANEEL 482	2012	Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração aos sistemas de distribuição de energia elétrica e o sistema de compensação de energia elétrica
Decreto nº 46.296 (Específico a Minas Gerais)	2013	Incentivos fiscais e tratamento tributário diferenciado aos empreendimentos localizados no estado
Convênio ICMS 16	2015	Autoriza a conceder isenção nas operações internas relativas à circulação de energia elétrica, sujeita a faturamento sob o Sistema de Compensação
Lei 13.169	2015	Ficam reduzidas a zero as alíquotas da Contribuição para o PIS/Pasep e da Contribuição para Financiamento da Seguridade Social – CONFINS incidentes sobre a energia elétrica ativa
Lei 13.203	2015	Descontos de pelo menos 50% nas tarifas de uso do sistema de transmissão e de distribuição e BNDES (taxas diferenciadas)
Resolução Normativa ANEEL nº687/2015	2015	Revisa a Resolução Normativa ANEEL 482 e os procedimentos de distribuição
ProGD	2015	Estimular o crescimento da GD no Brasil

O Relatório Final do ProGD (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2019) divide-se em subgrupos de trabalho os temas de financiamento, comercialização e edificações públicas de modo a organizar os incentivos do programa nessa área. As condições de financiamento de bancos públicos, a relação de programas privados de financiamento bem como a ações no âmbito tributário e de incentivos cabíveis ao MME para o são discutidos e recomendações feitas na publicação. O subgrupo de comercialização avalia a viabilidade e aponta diretrizes para que os excedentes gerados na micro e mini geração distribuída possam ser vendidos no Ambiente

de Contratação Livre (ACL) como forma de ampliar a atratividade econômica, e por consequência, incentivar os sistemas de GD – fotovoltaica, eólica, hidráulica e biomassa (MME, 2019).

### 6.3. Produção de biogás para cocção

O marco regulatório do saneamento básico consta na Lei nº 11.445 de 2007 que estabelece também a Política Federal de Saneamento Básico e prevê a universalização dos serviços públicos de abastecimento de água, esgotamento sanitário, limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos focando a proteção à saúde pública e do meio ambiente (Landau e Moura, 2016). A Lei tem, em suas diretrizes, o atendimento à população rural dispersa e de núcleos rurais e urbanos isolados, de forma compatível com suas características econômicas e sociais (Artigos 48 e 49) (Landau e Moura, 2016).

No que diz respeito aos biodigestores, Barreira (2011) relata que o Projeto de Difusão do Biogás no meio rural Brasileiro, lançado em 1977, previa a instalação de sete mil biodigestores em dois anos, mas construiu apenas três mil até 1983. Os idealizadores do projeto alegaram que os recursos foram insuficientes e o programa foi desativado por falta de apoio à pesquisa aplicada à nacionalização. Sem outro programa de incentivo, segundo Barreira (2011), no início dos anos 90 a Embrapa estimava que apenas oito mil biodigestores operavam o país. Bond e Templeton (2011) e Tonetti et al (2018) apontam que as principais barreiras para a disseminação da utilização e produção doméstica de biogás nas nações em desenvolvimento, de um modo geral, foi a falta de treinamento das famílias que precisam operar e executar a manutenção dos sistemas, bem como a ausência de mão de obra técnica especializada acompanhando os biodigestores a médio e longo prazos.

O incentivo mais recente aos biodigestores e biogás encontrado por essa pesquisa foi a integração da tecnologia no Programa Nacional de Habitação Rural (PNHR) do Governo Federal, que junto ao Fundo Socioambiental CAIXA financiaram um projeto da ONG Diaconia de capacitação de técnicos para a construção e manejo de produção de biogás em 335 biodigestores, nos estados de: Pernambuco, Bahia, Minas Gerais, Goiás, Santa Catarina e Rio Grande do Sul (Diaconia, 2013).

## 7. Mudanças climáticas como impulsionadoras de residências energeticamente sustentáveis

As evidências de que o aquecimento global está acontecendo de forma agravada pela ação antrópica são cada vez mais fortes, bem como a constatação das crises ambientais que podem ocorrer até o final deste século caso à humanidade não tome ações drásticas (IPCC, 2021). Neste contexto é que surge, na COP-21, o Acordo de Paris como marco da aceitação global de que uma transição energética rápida é necessária para evitar consequências desastrosas (McCauley e Heffron, 2018). Na convenção, foram estabelecidos compromissos de diversas nações em reduzir as emissões de Gases de Efeito Estufa, chamados NDC (Contribuição Nacionalmente Determinada) (WEO, 2016).

É consenso entre a Agência Internacional de Energia, IPCC (2012) e grande parte dos cientistas mundiais que as emissões líquidas do setor de energia precisarão zerar por volta de 2060. Este é um desafio formidável que exigirá um aumento significativo do uso tecnologias de baixo carbono (IEA, 2016). Heffron et al. (2018) colocam que projetos de políticas de diversificação da matriz energética garantem a disponibilidade do fornecimento de energia para o alcance da sustentabilidade e mitigação de futuras situações de risco hidrológico como as vividas atualmente, e remetem ao “princípio de segurança e confiabilidade energética”. Fortalecer a autoprodução de energia residencial, nesse contexto, pode ajudar a aumentar a segurança energética de um país, atingir metas climáticas e ainda trazer benefícios financeiros para a população, com economia em gastos com energia.

Ainda no evento da COP-21, O Brasil se comprometeu a reduzir emissões de gases de efeito estufa em 37% até 2025, com relação aos níveis de 2005, e em 43% até 2030, comparando aos mesmos níveis de 2005 (BRASIL, 2016). No setor de energia, esse compromisso significa aumentar a participação das energias renováveis não hidrelétricas no fornecimento de energia para pelo menos 23% até 2030, inclusive aumentando a participação da energia eólica, biomassa e solar (BRASIL, 2016).

No entanto, na contramão das maiores nações emissoras de GEE, em 2020 o Brasil publicou uma atualização de sua NDC em que mantinha a porcentagem de redução, mas o novo inventário de emissões do ano de 2005 contabilizou uma alta de 0,7GtCO<sub>2</sub> com relação ao anterior (BRASIL, 2020c). Dessa forma, manter a porcentagem de redução significa aumentar as emissões totais nos anos de 2025 e 2030, atitude nada ambiciosa frente às emergências

climáticas, considerando que mais de 40 países, entre eles os 27 da União Europeia, além de Reino Unido, Argentina, Chile e Colômbia, caminham na direção oposta, com compromissos mais sólidos e a visão clara de que terão vantagens competitivas em um futuro de economias inevitavelmente descarbonizadas (WRI, 2021a). Além disso, embora o PDE 2030 considere o NDC brasileiro em sua formulação, a energia hidrelétrica como fonte de energia de base e a geração térmica a gás natural ainda aparecem com destaque no plano (PAIM et al, 2019).

Já em 2021, em um cenário de recuperação da pandemia de COVID-19, a COP 26 produziu o Pacto Climático de Glasgow que, segundo António Guterres, representa um passo importante, porém não suficiente para limitar o aquecimento global a 1,5°C (ONU NEWS, 2021). O chefe das Nações Unidas evidencia que ainda é possível frear as mudanças climáticas se todos os países começarem a agir em caráter de emergência. No entanto, os compromissos firmados não foram ambiciosos a ponto de, segundo o relatório emitido pela ONU, o mundo ainda está seguindo em direção a um aquecimento de 2,7°C neste século (SÃO PAULO, 2021).

A COP 26 trouxe sim alguns avanços no combate às mudanças climáticas: a aprovação das regras do Artigo 6 do Acordo de Paris trata do mercado de carbono internacional (WRI, 2021b); mais de 190 países que pactuaram em reduzir gradualmente a utilização de carvão mineral nas matrizes energéticas até 2050 e mais de 100 países – inclusive o Brasil – se comprometeram em reduzir em 30% as emissões de metano na atmosfera até 2030, enquanto a principal emissora do gás – China – não assumiu tal compromisso (SÃO PAULO, 2021). Além disso, 120 países representando 90% das florestas do planeta – Brasil incluso – compactuaram em zerar o desmatamento até 2030 (ONU NEWS, 2021). No aspecto econômico, na COP 26 houve uma cobrança de que os países desenvolvidos, que falharam em aportar 100 bilhões de dólares ao ano desde 2020 no combate as mudanças climáticas apresentem metas de financiamento mais agressivas na próxima conferência (WRI, 2021b). Espera-se, para a próxima COP a acontecer em 2022, uma postura mais agressiva no enfrentamento ao aumento de temperatura global por meio da revisão e apresentação de novas metas, definições pendentes quanto ao mercado de carbono e compromissos de financiamentos mais robustos (SÃO PAULO, 2021).

### 7.1. Cenários do setor de energia e o NDC brasileiro

Paim et al. (2019) analisou oito cenários energéticos com base em políticas que podem ser implementadas em busca de atingir as metas da NDC brasileira e o resultado das mesmas no ano de 2030. A meta de 23% de eletricidade renovável não hidrelétrica até 2030 estabelecida na NDC brasileiro tem um objetivo duplo: limitar o risco hidrológico e fomentar a implantação de energias renováveis (Paim et al., 2019). Apenas três dos cenários simulados atingem a meta de eletricidade renovável não hidrelétrica, sendo que para todos eles existem políticas públicas que limitam a capacidade máxima de hidroeletricidade no mix energético nacional, além das políticas de apoio às energias eólica, solar e biomassa.

Os autores concluíram que, à medida em que as fontes renováveis não hidrelétricas aumentarem sua participação, a regulamentação deve se ajustar, e que as políticas energéticas devem se integrar mais com o meio ambiente, de modo que o nexo água-alimento-energia seja seguro para o país frente as mudanças climáticas (PAIM et al., 2019). Como atingir as metas climáticas são, além de um compromisso, uma necessidade mundial, é possível dizer que os compromissos assumidos pelos países são ferramentas que podem impulsionar a difusão de sistemas energéticos residenciais sustentáveis.

Na COP-26 o Brasil manteve em sua NDC o mesmo nível de emissões que se comprometeu em 2015 e mostrou-se com a agenda climática, além de pouco empenhada, bastante comprometida, uma vez que apesar de ter firmado compromissos de zerar o desmatamento até 2030 e reduzir as emissões de metano em 30%, não divulgou quais ações serão tomadas na prática e atingiu a maior taxa de desmatamento dos últimos 15 anos em 2021 – dado só divulgado após a COP-26 (WRI, 2021b).

## 8. Resultados e discussões

### 8.1. Análises das informações

#### 8.1.1. Dados relacionados ao consumo residencial de energia no Brasil

É evidente que, para a melhor definição de estratégias e políticas públicas regionais e locais, seria recomendado o desenvolvimento de um modelo com abordagem integrada e considerando as dimensões das fontes de energia, dos dispositivos de conversão energética e dos serviços que utilizam a energia, como aponta o estudo de Kowsari e Zerriffi (2011). No entanto, o foco deste

trabalho se manteve em apontar alternativas com base no cenário geral, e contribuir para o direcionamento de políticas públicas que avancem em direção a maior resiliência e segurança energética para a população nacional.

Como suposto no início desse capítulo, os dados levantados confirmam que é diverso o perfil de consumo energético no país, e ainda muito baixo o índice de geração local (cerca de 0,18% dos domicílios). Quando considerados, ao mesmo tempo, o vasto território nacional, a abundância de recursos naturais devido às condições geográficas – a ser abordada no próximo capítulo – e a grande porcentagem da população que reside em casa própria (72,5%), fica evidente o potencial de autoprodução de energia que o setor residencial apresenta. Como a maioria dos domicílios são casas (cerca de 62 milhões) com conexão à rede elétrica (99,8%) e apenas 0,3% dos domicílios entrevistados no PPH-2019 produzem a própria energia (sendo que 1/4 destes utiliza geradores diesel), as políticas públicas de geração distribuída e os incentivos para o aproveitamento energético solar – fotovoltaico e para aquecimento – são um ponto chave para ampliar a utilização de tais tecnologias nas residências nacionais, e serão abordados adiante.

O uso de chuveiros elétricos nas moradias brasileiras também é digno de destaque: em um país com clima tropical e grande disponibilidade solar, 24% da eletricidade consumida nos domicílios é utilizada para esquentar água para banho, de modo que a energia nobre é transformada em calor e, portanto, cobrada, onerando as contas das classes média e baixa. De modo geral, as informações mostram que regiões com maior concentração populacional possuem consumo médio de eletricidade maior que o de regiões com baixa densidade demográfica, assim como as famílias de classe social mais elevada tendem a consumir mais eletricidade, por possuírem mais eletrodomésticos e terem casas maiores. O uso da autogeração, no entanto, não possui ligação com a classe econômica a notar pela Tabela 04 com dados do PPH-2019 (ELETROBRAS/PROCEL, 2019). Idealmente, o aquecimento de água para banho não deveria ter por fonte uma energia nobre como a elétrica, principalmente quando considerados os níveis de irradiação no Brasil. Em Israel, por exemplo, mais de 90% das residências possuem aquecedores solares, uma vez que desde 1980 existe leis e políticas públicas que obrigam a utilização dos mesmos (ABRAVA, 2008). Na União Europeia, idem: apesar de o aquecimento ter por principal fonte gás (devido à grande infraestrutura para aquecer inclusive ambientes no inverno), Portugal, Espanha e Alemanha possuem ampla utilização dos SAS, com leis e fomento desde os anos 2000.

Voltando à análise do consumo de energia residencial brasileiro, outro ponto de destaque a ser abordado é o de que 31,7% dos domicílios brasileiros não têm coleta de esgoto, e cerca de 30 milhões de pessoas vivem em áreas rurais que têm potencial de tratar seus efluentes e aproveitá-los energeticamente. Tal prática traria múltiplos benefícios, significando desde uma fonte local de energia para cocção de alimentos nas famílias rurais até a despoluição de águas subterrâneas e redução no uso de combustíveis fósseis dentro do ambiente domiciliar, uma vez que o GLP é considerado o combustível mais adequado e amplamente utilizado atualmente, mesmo em ambientes que poderiam gerar seu próprio gás.

Por fim, cabe incluir na análise questões relacionadas à variação de consumo de eletricidade ao longo do ano. É possível identificar maiores e mais constantes consumos em regiões com climas mais intensos: no Norte devido ao calor, utilizam-se de ar-condicionado mesmo em residências de classes média baixa, enquanto na região Sul é notável o uso de aquecedores de ambientes, devido à demanda decorrente do clima frio. Além disso, constatou-se que as classes D/E consomem pouca eletricidade de forma constante o ano todo, por provavelmente consumirem o mínimo suficiente à vida e terem poucos eletrodomésticos.

#### 8.1.2. Avaliação dos recursos disponíveis nas moradias brasileiras

A análise dos recursos energéticos disponíveis para as residências nacionais, ainda que feita de modo generalista, permite algumas reflexões pertinentes. No que diz respeito ao aproveitamento da energia solar para aquecimento de águas, apesar do notável potencial solarimétrico do país representar uma alternativa eficiente frente aos chuveiros elétricos, a substituição em casas já existentes na maioria dos casos exigiria obras civis e um investimento a curto prazo não viável para as populações de classe média e baixa nacionais. Já a geração de eletricidade por meio de painéis fotovoltaicos não exige, de forma geral, reforma de casas já existentes, apesar de se mostrar pouco aplicável para locais com grande sombreamento por edifícios, telhados mal estruturados ou voltados para o Sul geográfico. Os moradores de centros adensados e apartamentos, em tese, não poderiam usufruir da autoprodução energética residencial, uma vez que não possuem área de telhado com insolação suficiente e que o seu lixo e esgoto são coletados ou conectados à rede geral, por questões sanitárias. Já os moradores de propriedades rurais ou de residências em cidades pequenas e médias poderiam de acordo com sua realidade e políticas públicas de incentivo, transitar para sistemas residenciais auto produtores de energia, conectados ou não à rede elétrica.

Já para a produção de biogás para cocção, as moradias precisam ter como recursos o esgoto doméstico, lixo urbano e área externa em quintal para o biodigestor. Além disso, é necessário avaliar se não existem águas subterrâneas próximas ao local de instalação e que a viabilidade do sistema aumenta para residências que possuam criação de animais ou produção agrícola – uma vez que os rejeitos são insumo para o biodigestor. Outro ponto, é que para instalação de biodigestores, em geral é necessário obras civis e essa é uma tecnologia que exige manutenções periódicas – o que podem inviabilizar parte dos sistemas. No entanto, as estimativas do potencial de produção de biogás consideram apenas as moradias sem coleta de esgoto doméstico e não contempla os demais detalhes e requisitos.

## 8.2. Resultados das estimativas dos potenciais energéticos do setor residencial

O potencial de aproveitamento energético teórico calculado com base nas equações detalhadas no item 5 deste trabalho trouxeram resultados que permitem análises e considerações acerca de sua tangibilidade para o cenário das residências nacionais. A seguir serão apresentados os dados estimados e feitos comentários com relação a expressividade que a energia residencial pode alcançar frente a matriz brasileira como ponto de partida para discussões que pautem a criação de políticas públicas e a inclusão de tais tecnologias nos planejamentos territorial e energético brasileiros.

### 8.2.1. Aproveitamento energético de SAS

A seguir estão apresentados os potenciais de economia de eletricidade por meio do aquecimento solar por região. Os resultados (Tabela 12) variam muito em função das regiões, uma vez que as mais quentes, por exemplo, utilizam pouco aquecimento de água, como já constatado na Tabela 06 e Figura 03.



Tabela 12 – Economia de Eletricidade proporcionada pelo Aquecimento Solar Residencial.

	Número de Casas	Média mensal de consumo de eletricidade (kWh)	Consumo percentual de eletricidade dos chuveiros	Economia de Elet. por SAS (GWh/mês)	Economia de Elet. por SAS (TWh/ano)
<b>Brasil</b>	61.991.000	159,74	24%	1.181,72	14,18
<b>Norte</b>	5.035.000	210,98	2%	10,56	0,13
<b>Nordeste</b>	17.276.000	118,51	9%	91,62	1,10
<b>Sudeste</b>	25.322.000	141,52	26%	463,29	5,56
<b>Centroeste</b>	5.033.000	178,45	26,6%	118,80	1,43
<b>Sul</b>	9.325.000	198,80	25%	230,45	2,77

Tal economia representa 9,94% do consumo de eletricidade do setor residencial (14,18 TWh/ano), o que equivale a toda a eletricidade produzida pelas usinas nucleares no país, segundo o BEN 2020. Apesar dos desafios em relação ao custeio dos sistemas, as estimativas acima pretendem elucidar a poupança de gastos com eletricidade da população e do Estado no caso da expansão do uso do aquecimento solar de água para o setor residencial.

O INPE (2017) considera que uma média de 300L/dia de água é suficiente para as moradias brasileiras e, considerando coletores solares de aquecimento de classificação A até D do INMETRO (2014a, 2014b), estima-se que a utilização de 4 a 8 m<sup>2</sup> de área sejam suficientes para aquecer a água, a depender, evidentemente, da localização da moradia (irradiação solar da região), do número de moradores e de banhos, em média, por dia, e da eficiência do trocador de calor. Como não existe regulamentação base para os sistemas de aquecimento, a estimativa de número de coletores se dá a partir das recomendações do fabricante e da classe de eficiência atestada pelo INMETRO.

### 8.2.2. Potencial de geração Fotovoltaica Residencial

Em termos energéticos, o cenário de conversão solar direta em calor para água do banho é mais eficiente do que a produção de eletricidade para o aquecimento de água em chuveiros elétricos. No entanto, a utilização de sistemas FV é, em geral, mais facilmente integrável a residências existentes, uma vez que não demanda adaptações hidráulicas e civis (EPE, 2018). Sendo assim, em um cenário real de planejamento energético e territorial, combinado com políticas públicas

e incentivos para a utilização de ambas tecnologias solares nas residências, o potencial de economia de energia e autogeração deve ficar entre os resultados apresentados abaixo.

Na Tabela 13 seguem os resultados ao considerarmos a não difusão de SAS e a consequente necessidade de suprir a geração de eletricidade inclusive para os chuveiros elétricos, enquanto na Tabela 14 considera-se a redução no consumo residencial de energia elétrica, estimado na sessão anterior, em decorrência do uso dos SAS.

Tabela 13 – Potencial teórico de geração fotovoltaica residencial no Brasil para o Cenário 1.

	Número de Casas x FDT	Média mensal de consumo de eletricidade (-50kWh)	Potencial de geração FV residencial (TWh/mês)	Potencial de geração FV residencial (TWh/ano)
<b>Brasil</b>	34.250.028	109,74	3,76	45,10
<b>Norte</b>	2.781.838	160,98	0,45	5,37
<b>Nordeste</b>	9.544.990	68,51	0,65	7,85
<b>Sudeste</b>	13.990.405	91,52	1,28	15,36
<b>Centroeste</b>	2.780.733	128,45	0,36	4,29
<b>Sul</b>	5.152.063	148,80	0,77	9,20

Tabela 14 – Potencial teórico de geração fotovoltaica residencial no Brasil para o Cenário 2.

	Número de Casas x FDT	(MMER x (1-%CCH)) – 50	Potencial de geração FV residencial (TWh/mês)	Potencial de geração FV residencial (TWh/ano)
<b>Brasil</b>	34.250.028	71,40	2,45	29,34
<b>Norte</b>	2.781.838	156,76	0,44	5,23
<b>Nordeste</b>	9.544.990	57,84	0,55	6,63
<b>Sudeste</b>	13.990.405	54,72	0,77	9,19
<b>Centroeste</b>	2.780.733	80,98	0,23	2,70
<b>Sul</b>	5.152.063	99,10	0,51	6,13

No Cenário 1 seriam produzidos 31,63% dos 142,6TWh/ano consumidos pelo setor residencial, enquanto no Cenário 2, apenas 20,58%, uma vez que 9,94% já não seriam demandas elétricas e estariam sendo produzidos em forma de água quente, somando um total de 30,52% de economia para o setor. Os números são expressivos e representam uma redução de cerca de um terço da demanda do segundo setor em consumo de eletricidade do país (BRASIL, 2020a).

A Tabela 15 expõe o número de módulos e a consequente área média necessária nos telhados residenciais de acordo com a faixa de demanda elétrica para a instalação de sistemas FV nos cenários 1 e 2. No Gráfico 02 estão representadas as parcelas de energia por setor considerando

os dados do BEN 2020 e as economias de energia proporcionadas no setor residencial por (a) SAS e SFV (Cenário 2) combinados e (b) SFV do Cenário 1.

Tabela 15 – Número médio de módulos e área média necessária de telhados para sistemas FV residenciais para diferentes faixas de consumo.

	Irradiação Global média (Wh/m <sup>2</sup> .dia)	Cenário 1			Cenário 2		
		# Módulos FV - Faixa 1	# Módulos FV - Faixa 2	# Módulos FV - Faixa 3	# Módulos FV - Faixa 1	# Módulos FV - Faixa 2	# Módulos FV - Faixa 3
<b>Brasil</b>	5.153	3	5	7	2	4	5
<b>Norte</b>	4.825	3	5	7	3	5	7
<b>Nordeste</b>	5.483	2	4	6	2	4	6
<b>Sudeste</b>	4.951	3	5	7	2	4	6
<b>Centroeste</b>	5.082	3	5	7	2	4	5
<b>Sul</b>	4.444	3	5	8	2	4	6
<b>A (m<sup>2</sup>)</b>		4 - 6	8 - 10	12 - 16	4 - 6	8 - 10	10 - 14

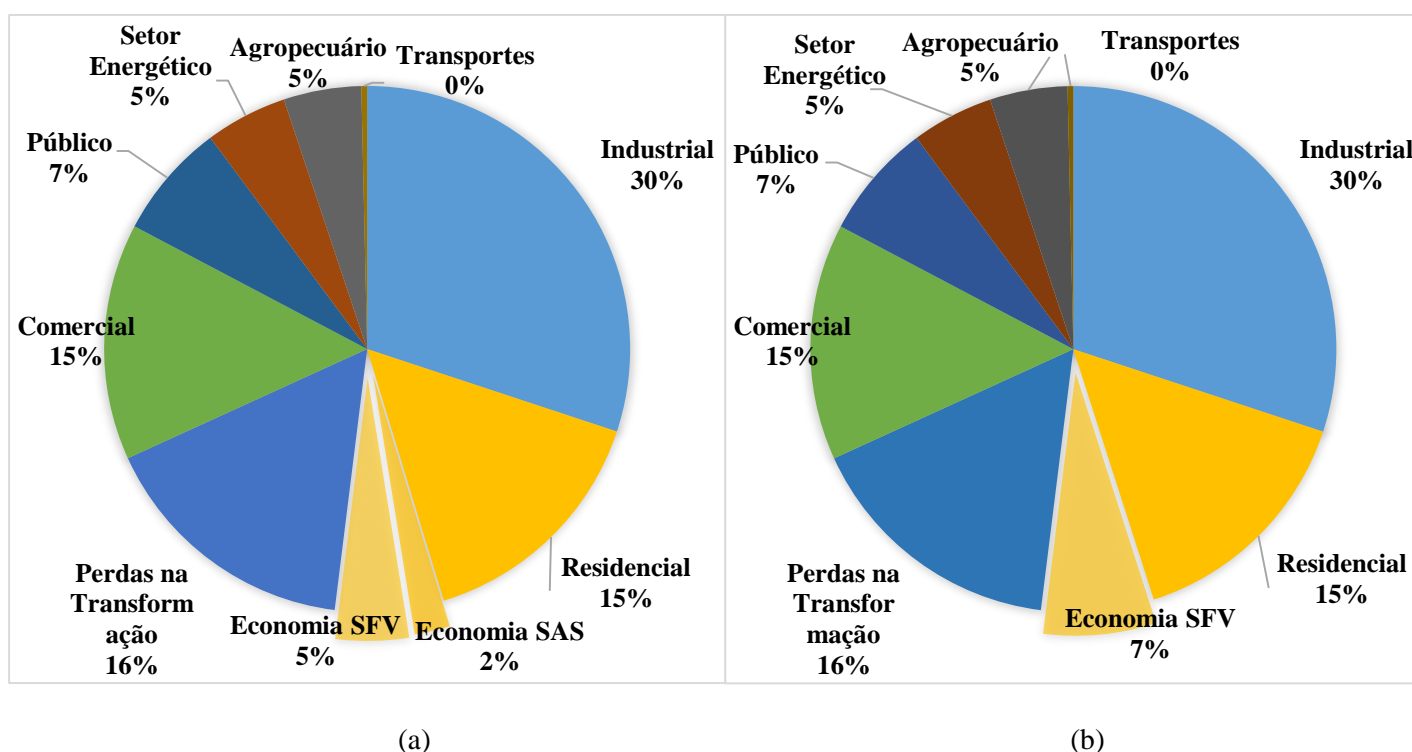


Gráfico 02 – Participação setorial no consumo de eletricidade considerando a economia de energia estimada com a ampla utilização de sistemas residenciais de (a) SAS e SFV combinados; (b) SFV.

É notável que a economia de cerca de 30% da eletricidade do setor residencial é significativa mesmo na análise do consumo elétrico total do Brasil. Outro ponto de relevância é que a GD residencial combinada a SASs ou não certamente também reduziria as “Perdas na Transformação”, uma vez que a energia seria aproveitada localmente, o que melhoraria ainda

mais o cenário da consumo de eletricidade no país. No entanto, tal análise necessita de simulações e estudos técnicos que não fazem parte do escopo desse trabalho.

### 8.2.3. Potencial de produção residencial de biogás

O potencial teórico de produção de biogás foi estimado considerando que todas as casas que não possuem coleta de esgoto podem utilizar-se de biodigestores para produzir gás para cocção (Tabela 16). Como grande parte das casas desconectadas da rede de esgoto no meio rural, é coerente pensar que uma parcela da economia de recursos para cocção se daria em lenha. No entanto, o equivalente anual em GLP foi calculado para facilitar a análise em que, constatou-se que a economia seria de apenas 4% ao ano do consumo atual do combustível. Os resultados apontam para o mesmo sentido do que é trazido pela literatura especializada – que a produção de biogás exclusivamente dos excrementos humanos de uma residência é insuficiente para toda a cocção da família que nela habita.

Tabela 16 – Potencial teórico de Produção de Biogás no Brasil e o equivalente em GLP.

<b>Região</b>	<b>Potencial de Produção de biogás (m<sup>3</sup>/mês)</b>	<b>Equivalente em GLP (m<sup>3</sup>/mês)</b>	<b>Equivalente em GLP (m<sup>3</sup>/ano)</b>
<b>Brasil</b>	87.780.747,4	39.852,5	478.229,5
<b>Norte</b>	20.031.066,0	9.094,1	109.129,2
<b>Nordeste</b>	38.289.596,4	17.383,5	208.601,7
<b>Sudeste</b>	13.382.179,4	6.075,5	72.906,1
<b>Centroeste</b>	8.508.330,0	3.862,8	46.353,4
<b>Sul</b>	13.104.824,9	5.949,6	71.395,1

Apesar disso, a alternativa ainda se mostra interessante, principalmente quando considerados os benefícios ambientais do tratamento de esgoto e da redução do volume de lixo orgânico produzido no ambiente doméstico de cerca de 32% da população, além da produção de biofertilizante como subproduto – insumo bastante interessante para as áreas rurais. Ainda, para as famílias que tiverem acesso a esterco animal – realidade comum também na zona rural – a produção de biogás pode ser suficiente para toda a cocção, o que aumenta a viabilidade prática, técnica e econômica dessa fonte energética.

No caso das comunidades urbanas que poderiam adotar biodigestores, no entanto, os sistemas provavelmente seriam centralizados devido às restrições de espaço e o gás produzido poderia servir como combustível complementar de cocção para a população local – geralmente de baixa renda.

### 8.3. Perfil das moradias a adotarem a autogeração

Os aspectos sociais e econômicos das famílias brasileiras também são relevantes para se determinar qual parcela das residências nacionais teriam condições de contribuir para a matriz energética, produzindo a energia a ser consumida internamente. Considerando que o investimento nos sistemas seria financiado pela própria população, com seus próprios recursos, é muito provável que apenas as residências de classe média e alta possuam potencial para produzir sua energia.

Mesmo assim, Maia, Lima e Gomes (2019) chamam atenção para os esforços dos governos federal e estaduais em promover a geração fotovoltaica de eletricidade e o aquecimento solar de água para habitações populares e em financiamentos do programa Minha Casa Minha Vida, voltado para as classes baixa e média (SÃO PAULO, 2020). Diante de todas essas considerações, a análise econômica de viabilidade de instalação dos sistemas exige um estudo mais aprofundado e o desenvolvimento de um modelo matemático exclusivo, que não poderá ser realizado neste momento. Além disso, os dados da última PPH (ELETROBRAS/PROCEL, 2019), organizados na Tabela 05, mostram que desde a classe A até a classe E, mais de 99,3% dos domicílios entrevistados não geram sua própria eletricidade, nem sequer parcialmente, o que, por si só, permite estimativas do potencial de geração fotovoltaica das residências já existentes no país.

O potencial energético do setor residencial brasileiro foi estimado, portanto, considerando todas as residências existentes com requisitos mínimos adequados para autoprodução energética de modo geral (Tabela 09), e desconsiderando os aspectos sociais e econômicos, que podem ser tratados por políticas públicas e incentivos estatais a serem comentados nos próximos capítulos.

É evidente que uma estimativa mais precisa pode ser feita ao se considerar aspectos climáticos de cada localidade, mas este não é o foco do trabalho. Buscou-se, em vez disso, apontar o potencial das alternativas de aproveitamento energético residencial de modo geral no Brasil.

Apesar de os resultados abrangerem todas as moradias que teoricamente se enquadram nessas características, os dados e resultados permitem a determinação de alguns nichos mais favoráveis às políticas públicas de incentivo e investimento do Estado para cada uma das tecnologias

abordadas nesta pesquisa. No Gráfico 03 estão as parcelas por região administrativa do (a) potencial de economia de eletricidade que os SAS amplamente utilizados nas casas brasileiras podem proporcionar e da (b) eletricidade que pode ser gerada nos telhados das moradias nacionais por meio de sistemas FV.

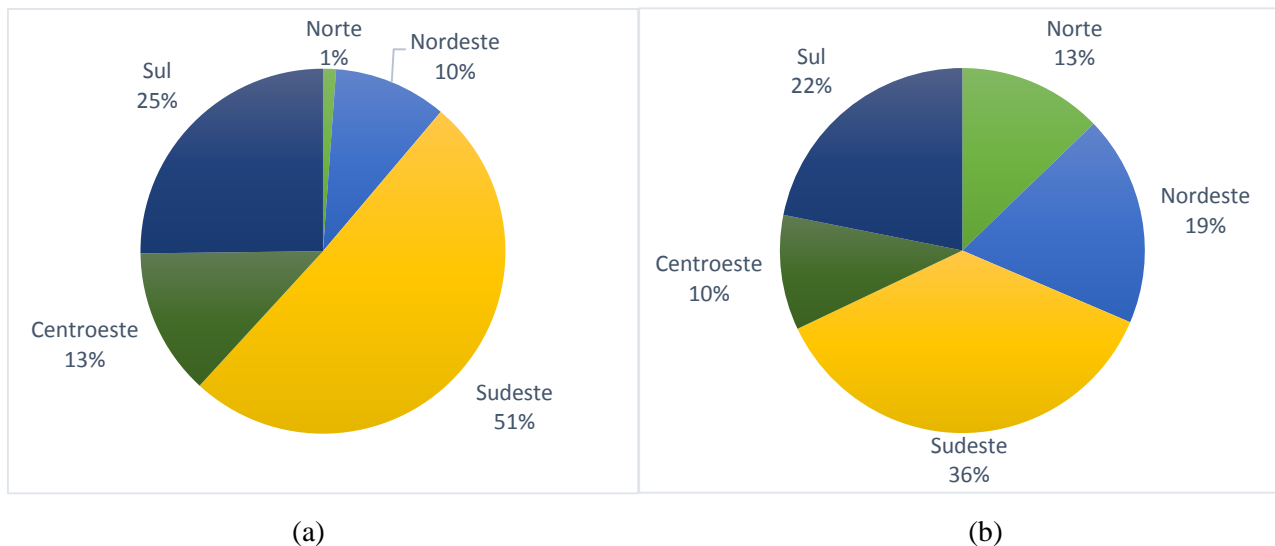


Gráfico 03 – (a) Parcelas de cada região no potencial de economia de eletricidade de SAS (b) Proporção do potencial de geração de eletricidade FV do setor residencial por região econômica.

Os resultados da Tabela 12 e o Gráfico 02 (a) evidenciam como nichos prioritários para os incentivos e investimentos em Sistemas de Aquecimento Solar as residências das regiões Sudeste e Sul. Juntas, elas somam 76% do potencial de economia de eletricidade estimado pelos SAS, devido principalmente aos números absolutos de casas nessas regiões em relação às demais, além necessidade de aquecimento de água ao longo do ano, diferentemente das regiões Norte e Nordeste, onde pouco se utiliza chuveiros elétricos por não necessário esquentar a água. Já o Centroeste do país, por ter população menor com relação a Sul e Sudeste, não apresenta parcela expressiva no potencial de economia, apesar de o consumo percentual de eletricidade dos chuveiros nas residências ser semelhante. Como a região tem boa insolação e demanda por aquecimento considerável, ela também pode ser considerada como estratégica para os incentivos aos SAS.

Com relação à geração fotovoltaica residencial, os resultados apontam que todo o Brasil tem bom potencial de autoprodução, uma vez que mesmo as regiões Sul e Sudeste tendo as piores irradiações do país, elas ainda assim são suficientes para suprir as demandas energéticas das residências de um modo geral. Portanto, a GD fotovoltaica deve ser incentivada e financiada a nível nacional como alternativa à redução da demanda de eletricidade do setor residencial.

Já quanto à análise das políticas de fomento à produção doméstica de biogás, é possível distinguir dois nichos diferentes para incentivo à essa tecnologia: moradias rurais e moradias em comunidades urbanas isoladas da rede de esgoto. Alguns países em desenvolvimento tem um histórico bem-sucedido de programas de incentivo ao biogás para comunidade rural (BOND e TEMPLETON, 2011; BANSAL, SALINI e KHATOD, 2014; RAHMAN et al., 2014) inclusive em combinação com tecnologias de aproveitamento solar de energia. Barreira (2011) estimou que na China são mais de 8 milhões e na Índia, 300 mil biodigestores em operação. Já Berhe (et al., 2017) descrevem em seu trabalho que 58% dos biogás implantados na Etiópia em um programa de incentivo entre 2009 e 2015 não estavam em operação já em 2017. Portanto, fica evidente que o sucesso de qualquer programa de biogás está atrelado aos esforços do Poder Público, que além de inicialmente financiar precisa também capacitar a população local para operação e manutenção dos biodigestores em operação.

O primeiro foco de investimento e incentivo ao biogás residencial das políticas públicas pelo entendimento dessa pesquisa, seriam as moradias rurais, uma vez que estas têm potencialmente mais dificuldade no acesso ao GLP, além de mais chances de possuírem esterco animal e matéria orgânica vegetal para potencializar a produção de biogás e garantir assim, a autonomia de cocção apenas pelo biocombustível. Somados a esses pontos, os dados amostrados entre a porcentagem de coleta de esgoto em domicílios (IBGE, 2019) e dos domicílios situados nas áreas rurais (IBGE, 2014) mostram que esses são os menos atendidos: 8% estão conectados à rede geral de coleta de esgoto de alguma forma, enquanto cerca de 13% não possuem nenhum tipo de tratamento ou coleta e 79% restantes fazem uso de fossas sépticas, rudimentares ou outros sistemas (FIGUEIREDO, 2019). Segundo o IBGE (2010), as maiores populações rurais relativas se encontram no Norte e Nordeste, que seriam as regiões e nichos mais interessantes de incentivo aos biodigestores.

Outra parte da população que não possui coleta de esgoto é a que se concentra em aglomerados urbanos isolados – seja geográfica, seja socialmente: favelas, quilombos, ocupações. Esses domicílios poderiam ser contemplados com biodigestores, porém, considerando contextos estruturais e anteriores, de moradias em zonas de risco, falta de estrutura civil adequada e grande precariedade geral – inclusive de espaço físico, muitas vezes - não é de se espantar que as demandas mais urgentes destas localidades junto ao Poder Público passem longe dos programas de produção de biogás. Para comunidades mais estruturadas, como conjuntos habitacionais de moradias de interesse social ainda não construídos, é possível pensar em

biodigestores multifamiliares, que possam produzir mais biogás do que os unifamiliares podendo estes servirem tanto para a cocção quanto como backup para os SAS.

No que diz respeito à adoção de tecnologias de autoprodução energética por diferentes classes sociais, a PPH-19 (ELETROBRAS/ PROCEL, 2019) mostra que a classe B é a que mais adotou sistemas fotovoltaicos, talvez pela tendência de a classe A, mais afortunada, se preocupar menos com valores de suas contas de eletricidade. No entanto, considerando que a classe A é a que mais facilmente financiaria quaisquer das tecnologias abordadas neste trabalho, com recursos próprios, entende-se que os incentivos para que essa parcela da população adote a autoprodução social devam focar numa espécie de mudança de cultura de consumo, para além de questões de atratividade financeira, que parecem não ser eficazes com a classe A. Já para a classe média e média alta (C e B), os incentivos financeiros para que SAS, sistemas FV e até biodigestores sejam instalados em suas residências devem ser os maiores impulsionadores das tecnologias de autoprodução. Tais incentivos podem ir desde financiamentos com juros baixos e parcelas baratas, equiparadas a fatura de energia, até a isenção de impostos.

As classes D e E, no entanto, dificilmente conseguiriam adquirir com recursos próprios as tecnologias de autogeração sustentável, ou mesmo realizar as adequações civis necessárias para os SAS ou biodigestores. Portanto, para essa parcela da população, o investimento do Poder Público seria crucial na expansão da adoção das soluções de energia, bem como as políticas públicas que obriguem moradias de interesse social a adotarem SAS e FVs.

#### 8.4. Impactos da autoprodução residencial para o setor público e energético

Além dos notáveis benefícios ambientais e sociais – diversificação da matriz com fontes renováveis não hídricas, redução nas emissões de GEE da cadeia energética, economia com eletricidade e GLP para a população – a autoprodução residencial tem impactos positivos também para os setores de administração pública e energéticos. O MME (2019) listou no relatório do Programa de Desenvolvimento de Geração Distribuída de Energia Elétrica (ProGD) os seguintes benefícios para a micro e minigeração distribuída:

- “- Redução de perdas técnicas, em razão da localização junto ao consumo;
- Atenuação de investimentos em transmissão;
- Uso de fontes renováveis,



- Adiamento de investimentos em geração centralizada;
- Aumento da segurança do fornecimento pela redução da dependência da rede de transmissão;
- Otimização da operação da rede de distribuição e aumento da qualidade do fornecimento;
- Rápida implantação e baixos custos de operação e manutenção;
- Atração de investimentos privados e pulverizados para o setor;
- Complementariedade da geração no horário da ponta física do sistema;
- Diversificação da matriz energética;
- Geração de empregos e desenvolvimento econômico.” (MME, 2019, p.28)

A grande maioria das vantagens da GD listadas acima, se encaixam também nos aproveitamentos energéticos a nível residencial que são representados pelos SAS e pela produção de biogás, uma vez que estes contribuem para a diversificação da matriz e aumento da segurança energética do país. De tal maneira, é possível relacionar a autoprodução residencial como uma contribuição para atingir a NDC brasileira, sendo esse mais um benefício a ser considerado para o setor público. A produção de biogás local a partir de esgoto e lixo doméstico em residências que não possuem a coleta traria ao poder público a vantagem de tratar esses resíduos de forma não centralizada com a contrapartida de que a responsabilidade de garantir que os sistemas biodigestores operem de forma segura ainda seja do poder público.

De volta aos impactos da GD residencial, de modo geral os agentes mais afetados negativamente pela grande difusão dos sistemas fotovoltaicos residenciais seriam as concessionárias de energia. Estudos mostram os impactos de geradores FV distribuídos na rede de distribuição de energia elétrica de baixa tensão e analisam como as mudanças propostas nas regras da GD podem amenizar os efeitos negativos que atingir as distribuidoras de energia sentem (Castilhos e Donadel, 2021; Passatuto, 2020). Nas simulações feitas por Castilhos e Donadel (2021) constatou-se que quando a potência instalada de SFV é 70% maior que a capacidade de carregamento máxima da rede as perdas aumentam e ocorrem sobretensões. Já Passatuto (2020) aponta que mesmo enquanto os sistemas FV estão em expansão, os custos da rede de distribuição que envolvem a manutenção e operação da rede, mantendo os requisitos de qualidade, proteção e controle envolvem as concessionárias de energia. Enquanto isso, a EPE (2014) calculou os impactos da penetração da geração fotovoltaica distribuída para os vários agentes por ela afetados. Em sua nota técnica, a empresa publicou que os impactos mais diretos para as distribuidoras de energia e o estado são no fluxo de caixa, mas que estes são pouco

relevantes. Nesse sentido o PL 5829 de 2019 é uma aposta do setor elétrico na compensação dessa desvantagem para agentes que por hora se sentem prejudicados com a expansão da GD.

## 8.5.O planejamento na expansão da autoprodução residencial

### 8.5.1. Planejamento energético

O planejamento energético tem por objetivo promover e otimizar o suprimento de energia a partir das diversas fontes, considerando as políticas econômicas, sociais e ambientais vigentes. O planejamento energético passa pela elaboração de planos e metas de suprimento de energia, de economia e de investimentos; como um processo contínuo que passa por correções e atualizações frequentes, que ajustam o planejamento para o curto, médio e longo prazos (BAJAY, 1989).

No Brasil, o planejamento energético é feito pela EPE, vinculada ao MME. A Empresa pública periodicamente o Plano Decenal de Energia (PDE) em que são colocadas as sínteses dos estudos e planejamento de curto e médio prazo nacionais – 10 anos - e o Plano Nacional de Energia (PNE), em que os relatórios e projeções buscam definir diretrizes para o setor energético a longo prazo, no horizonte de 30 anos. Ambos os documentos, em suas últimas versões – PNE 2050 e PDE 2031 – abordam a geração distribuída e o setor residencial, mas nenhum deles considera em seu planejamento SAS e biodigestores residenciais. A este ponto do trabalho, é possível aferir que essa não abordagem se deve às dificuldades em difundir tais sistemas em moradias existentes à nível nacional, combinada a relativa boa e fácil adaptabilidade da energia fotovoltaica à grande maioria das casas brasileiras.

Um dos estudos do PDE 2031 faz projeções sobre a Micro e Mini GD (MMGD) e a inserção de baterias nos sistemas para os próximos anos, considerando as alterações que devem acontecer no Sistema de Compensação de Energia Elétrica com a aprovação do PL 5829. Segundo a EPE (2021) a geração FV na MMGD é protagonista na expansão da oferta de eletricidade no país, uma vez que em 2020 a expansão da fonte solar distribuída superou todas as fontes centralizadas com seus 2,5GW de crescimento no ano. Considerando a gradualidade na transição das regras da GD em seus estudos, o cenário adotado como guia para o PDE 2031 projeta que o setor residencial será líder em capacidade instalada de FV no horizonte decenal,

chegando a 12GW instalados até 2031, ainda que essa capacidade represente menos de 5% dos domicílios no final dos próximos 10 anos.

O PNE 2050 por sua vez, tem em seu relatório final um documento de cunho estratégico, em que a partir de estudos realizados desde a publicação do PNE 2030 em 2007, são sintetizadas informações que permitem antever os impactos de longo prazo que os diversos fatores internos e externos terão no setor energético em forma de desafios e recomendações para embasar o posicionamento do governo e direcionar as estratégias dos agentes do setor (EPE, 2020). Tal embasamento se dá a partir de modelagens e simulações que consideram cenários mundiais, nacionais e macroeconômicos para extrapolar de forma consistente os aspectos da demanda e da oferta de energia no Brasil de 2050 (EPE, 2013). Os cenários buscam levar em conta como se dará no horizonte de trinta anos as incertezas e pontos críticos referentes aos impactos de mudanças climáticas na economia e geração de energia, a distribuição de renda, o crescimento econômico regional e setorial e ainda as reformas, investimentos externos e contas públicas (EPE, 2018b). Os relatórios consideram os cenários superior e inferior da economia, de forma a concentrar as perspectivas otimistas e pessimistas para o setor energético nacional até 2050.

A EPE conclui em seu relatório de cenários de demanda (EPE, 2018c) que os derivados de petróleo continuarão sendo a principal fonte de energia para consumo final em 2050, seguidos da eletricidade e dos produtos da cana (bagaço de cana e etanol) nos dois cenários estudados. Entretanto, em ambos os cenários a participação dos derivados de petróleo é reduzida, favorecida pelo setor de transportes, e pelo aumento da participação da eletricidade em todos os setores, principalmente pelo residencial. O relatório estima que o consumo de energia no setor residencial cresça entre 1,2% e 1,7% ao ano, respectivamente nos cenários inferior e superior entre 2015 e 2050 (EPE, 2018c). As principais fontes de energia continuarão sendo eletricidade, GLP, gás natural e lenha. Além disso a EPE coloca que é esperado um crescimento da utilização de sistemas de aquecimento solar (SAS) em substituição aos chuveiros elétricos nas residências em consequência do desenvolvimento de um mercado autônomo e da utilização dos sistemas em habitações de interesse social, que será mais expressivo no cenário superior (EPE, 2018c).

Para pautar os direcionamentos acerca da GD no âmbito residencial, a EPE em parceria com a Agência de Cooperação Internacional da Alemanha (GIZ) realizou um estudo abrangendo a capacidade de geração total dos telhados residenciais publicado na nota técnica DEA 19/14, intitulada “Inserção da Geração Fotovoltaica Distribuída no Brasil – Condicionantes e

Impactos” (EPE, 2018a; EPE, 2014). O trabalho tem grande relação com essa pesquisa e gerou resultados interessantes como a comprovação de que todos os estados têm condições de suprir seu consumo elétrico residencial de forma integral com a energia FV distribuída nos telhados das residências. A EPE (2018a) estima que o potencial de geração chega a ser 2,3 vezes maior que o consumo, sendo que as projeções feitas pela Empresa (EPE, 2014) consideram com a projeção do número de domicílios para 2050 que a limitação física de área em telhados não é existente, como também inferiu essa pesquisa.

A publicação da EPE (2018a) também cita que os SAS trariam grandes benefícios para o setor energético residencial, mas que, além de dividir o espaço dos telhados com os sistemas FV, esses não tem a mesma facilidade de adaptação construtiva e arquitetônica que a geração solar de eletricidade que, em geral, dispensa obras civis. Ademais, CRUZ (2016) afirma que SAS ocupam áreas menores que os sistemas FV residenciais, o que torna a utilização das duas tecnologias interessante. Dessa forma, a EPE (2018a) infere que o potencial técnico para o aproveitamento do aquecimento solar d’água é suficiente para o vasto atendimento das necessidades dos domicílios brasileiros, ainda que em alguns casos particulares (apartamentos, telhados sombreados, por exemplo) não seja possível a instalação, bem como para os sistemas fotovoltaicos.

As regiões mais povoadas e com casas tem maior potencial de geração FV residencial, ainda que a irradiação não seja tão favorável nelas, pelo simples fato de que estas são regiões com mais casas (EPE, 2014). No entanto, a EPE (2014) considera ainda em seu estudo que a autoprodução energética não é viável aos moradores de apartamento – tal qual este trabalho – e ainda que existe ainda um fator de sombreamento grande em função do número de edifícios altos nas metrópoles nacionais. O mapa do potencial FV residencial por município brasileiro colocado (Figura 06) e o Potencial Técnico de geração fotovoltaica em telhados residenciais por Unidade da Federação (Figura 07) foram produzidos pela EPE (2014) com dados de LANGE (2012).

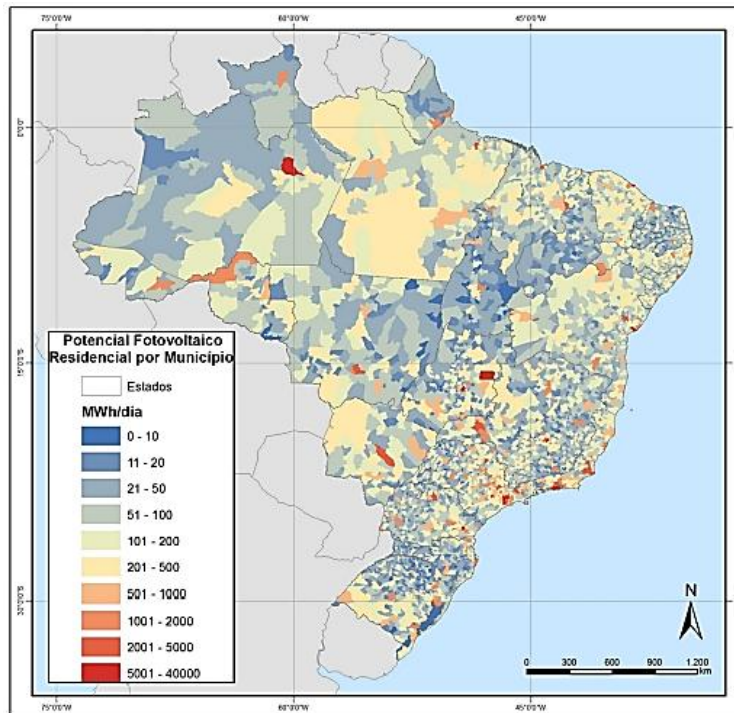


Figura 06 - Potencial Fotovoltaico residencial por município brasileiro(MWh/dia). Fonte: EPE (2014), com dados de Lange (2012).

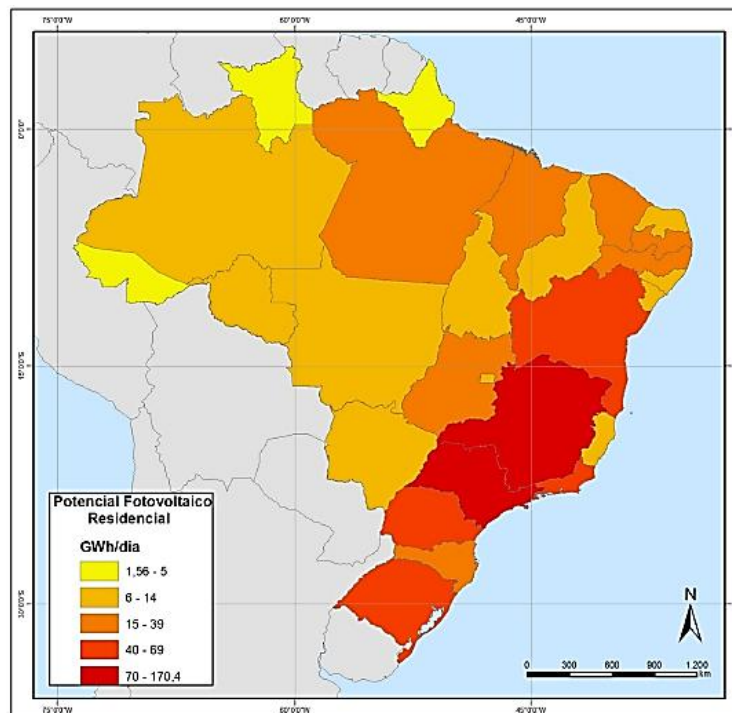


Figura 07 - Potencial técnico de geração fotovoltaica em telhados residenciais por estado (GWh/dia). Fonte: EPE (2014), com dados de Lange (2012).

O estudo de Inserção da Geração Fotovoltaica Distribuída no Brasil (EPE, 2014) considerou, assim como o presente trabalho, apenas casas próprias como potenciais geradoras de eletricidade FV, mas por ter sido realizado em 2014 quando o custo da energia gerada era mais alto, estimou que apenas residências com consumo superior a 400kWh/mês seriam nicho para esse tipo de sistema, contabilizando um potencial teórico de geração de 287.505GWh/ano.

Entretanto, a EPE (2014) projetou o crescimento da capacidade instalada e redução de custo dos sistemas FV até 2050, na Figura 08.

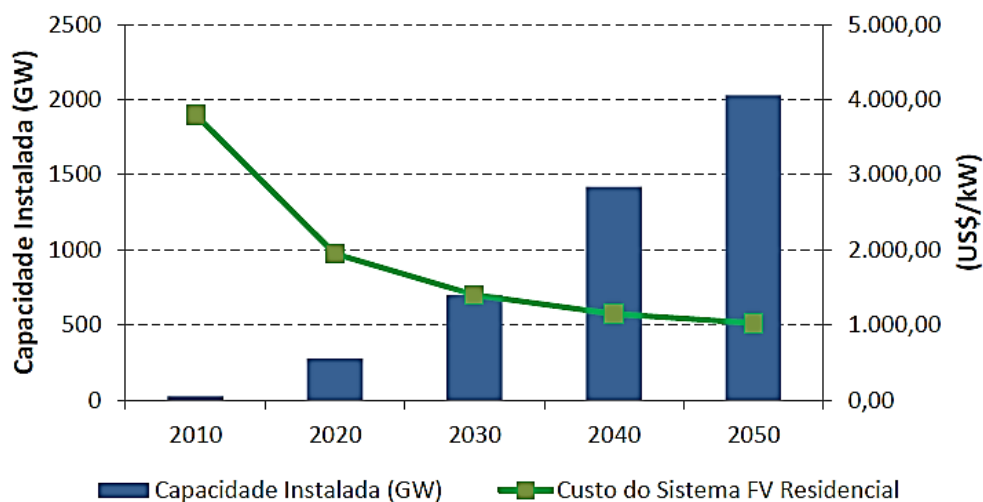


Figura 08 – Projeção do crescimento da capacidade instalada até 2050. Fonte: EPE (2014).

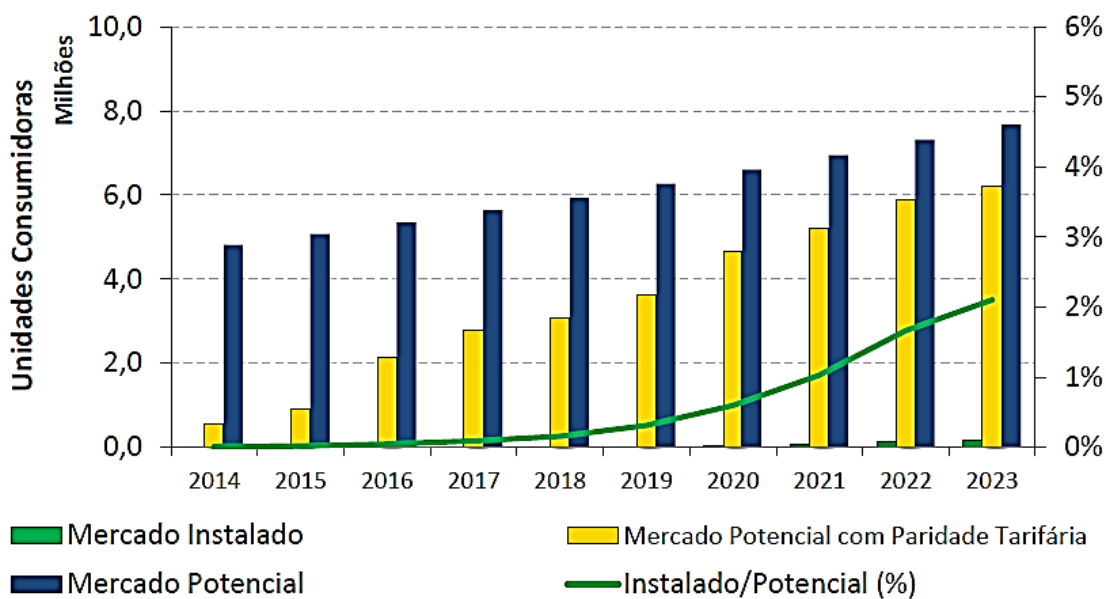


Figura 09 - Evolução do Mercado de Sistemas Fotovoltaicos Distribuídos no Brasil. Fonte: EPE (2014).

A Figura 09 apresenta as projeções para o crescimento de unidades consumidoras com sistemas FV instalado até 2023. Dados da ABSOLAR (2021), permitem uma comparação entre as projeções e a realidade: enquanto eram estimadas 71.304 unidades consumidoras para 2021 no país, já são contabilizados 644.716 sistemas de FV conectados à rede, dos quais, 490.336 são do setor residencial. A capacidade instalada prevista para 482MWp (EPE, 2014), atingiu 7,3GWp, dos quais os 181MWp projetados para o setor residencial em 2021 pela EPE já são 3GWp.

O ótimo desempenho do setor frente as estimativas pode se justificar por três fatores principais: i) a redução no custo dos sistemas por potência instalada também foi maior do que a projetada – US\$900/kW projetados para 2020 na verdade já são US\$800/kW mesmo com o dólar cotado em torno de R\$5,50; ii) a alta do custo da energia em função de crises hídricas que afetam o sistema elétrico brasileiro ano a ano, exigindo a ativação de termelétricas cuja fonte energética além de poluentes, são mais caras; iii) Políticas de incentivo à GD, como o Convênio ICMS 16, o ProGD, as Leis 13.169 e 13.203 e a Resolução Normativa ANEEL nº687, todos de 2015.

### 8.5.2. Planejamento territorial

Tão importante quanto o planejamento energético – e a formulação de políticas públicas de nível federal para o incentivo da autogeração de energia residencial – é, no âmbito do planejamento territorial, que os planos diretores municipais considerem o fomento a sustentabilidade energética para seus cidadãos em suas ações e políticas públicas. Sendo o plano diretor um projeto de cidade no que tange aos seus aspectos físico-territoriais, elaborado pelo Poder Executivo Municipal sob a responsabilidade técnica de um arquiteto urbanista e com a participação de uma equipe interdisciplinar em um processo de planejamento participativo (MPPR, 2021), este projeto pode considerar as possibilidades de incentivo à autogeração residencial que mais se adequam ao município.

Algumas cidades possuem leis municipais ou diretrizes em seu plano diretor que podem ser consideradas referência para as demais. Desde o início dos anos 2000, existe a obrigação legal de instalação de SAS ou da preparação civil e hidráulica para a instalação dos mesmos em cidades como Varginha (MG) São Paulo (SP), Peruíbe (SP), Avaré (SP), Juiz de Fora (MG), Marília (SP), Campo Grande (MS), Ribeirão Pires (SP) e Ribeirão Preto (SP) para novas construções (algumas com especificação de área necessária), enquanto em Birigui (SP), tal obrigação se dá apenas em habitações de interesse social (ABRAVA, 2008). Os estados de São Paulo e Rio de Janeiro possuem leis que obrigam a instalação de SAS em novos prédios públicos, e Campina Grande (PB) oferece desconto no IPTU para imóveis com SAS (ABRAVA, 2008). O aquecimento solar foi apontado no início do século por 1000 líderes de 125 países como tecnologia mais confiável no combate às mudanças climáticas (ABRAVA, 2008) e, sendo uma tecnologia que varia de acordo com as condições climáticas e de distribuição espacial de cada região, pode constar no planejamento territorial municipal, a fim de promover benefícios econômicos, ambientais e energéticos para a população local.

Para os sistemas Fotovoltaicos, algumas cidades como Piracicaba, Hortolândia, Ribeirão Preto e São Paulo (SP) possuem desde propostas na revisão do plano diretor até leis já sancionadas com relação à obrigatoriedade de instalação em prédios públicos, áreas comuns de condomínios, casas de alto padrão (acima de 250m<sup>2</sup> de área construída, por exemplo), que podem ser consideradas iniciativas de incentivo e planejamento inspiradoras para as demais cidades brasileiras.

Já o planejamento territorial voltado para biodigestores residenciais não apresenta muita movimentação por parte dos municípios, bem como dos estados e da federação. Apesar disso, os cenários de emergência climática e crises hídricas, combinados aos números de domicílios sem coleta e tratamento de esgoto no país, formam uma conjuntura de aspectos que permitem elucidar algumas alternativas de ações que caberiam no plano diretor das cidades, para que se atingisse um duplo objetivo: saneamento básico universal e produção de biogás para cocção para famílias carentes. Os municípios podem realizar ações em conjunto com as comunidades rurais e periféricas sem coleta de esgoto para criar cooperativas para construção e treinamento para manutenção de biodigestores, e incluir em suas ações de educação ambiental a conscientização da população acerca da necessidade do tratamento de efluentes e os benefícios de fazê-lo localmente.

Um exemplo de incentivo que pode impulsionar a adoção das tecnologias de aproveitamento energético para toda a população citada acima é a adoção de um aumento progressivo no IPTU de modo que os cidadãos que adotarem as alternativas para autogeração de energia cabíveis em sua residência não terão o acréscimo do custo no imposto por até dez anos. Dessa forma, a receita municipal crescerá com os domicílios que optarem por não aderir, enquanto as classes mais altas se sentiriam incentivadas a adquirir sistemas de aquecimento, geração FV e até de produção de biogás, a depender da realidade da moradia. Obviamente, tal aumento de IPTU deveria se aplicar apenas à casas a partir de uma certa área ou padrão de vida, uma vez que as classes mais baixas da população não são capazes de aderir a autogeração residencial por questões financeiras e, não seria coerente aumentar a tributação dessa parte da sociedade.

#### 8.5.3. Políticas públicas de incentivo às tecnologias de autoprodução energética



As políticas públicas são ferramentas de incentivo direto à ampliação da utilização das tecnologias de autogeração de energia residencial. A partir e por meio delas, de maneira combinada a outras ferramentas de planejamento energético e territorial, pode-se alcançar maiores graus de engajamento da população. Explora-se aqui, além das leis comentadas no item anterior e no item 6 de modo geral, algumas possibilidades de legislações a serem criadas a fim de se promover, no setor residencial, uma transição gradual e eficiente para a autogeração de energia.

Como políticas de incentivo para a adoção, por financiamento próprio, de sistemas de aquecimento, fotovoltaicos ou mesmo biodigestor – o que se daria principalmente para as residências de classe A e B – são válidas alternativas que vão desde isenção de impostos até leis que pautem a obrigatoriedade de aquisição – para, por exemplo, consumidores com padrão de vida alto, áreas comuns de condomínios, edifícios públicos, ou até mesmo para todas as novas construções de uma cidade. Exemplos assim já podem ser encontrados no Brasil e no mundo, principalmente relacionados aos sistemas SAS e FV residenciais, e remetem principalmente a incentivos estaduais, federais e municipais. No caso dos biodigestores, é vislumbrável que o poder público crie leis que beneficiem fiscalmente aos donos das propriedades rurais que financiem seus próprios sistemas de tratamento de esgoto e produção de biogás, inclusive com redução do imposto territorial rural por parte dos municípios.

A parcela da população inserida nas classes C e D e E merece especial atenção do poder público. Além de também ser considerada como potencial produtora de eletricidade FV, consumidora de SAS e portadora de biodigestores de nível residencial, esta parcela da população pode ser oportunamente encarada em função do seu potencial (i) de redução da demanda por eletricidade do sistema residencial frente ao BEN – por representar um enorme número de pessoas no nosso país – e (ii) de beneficiamento e interesse frente à autoprodução energética, tendo em vista que são as parcelas mais carentes da população que sofrem com os preços de eletricidade e GLP no Brasil.

No entanto, para que as classes sociais menos favorecidas tenham acesso às tecnologias de aproveitamento energético residencial, são necessários maiores esforços do poder público. Para a ampla utilização de SAS, SFV e biodigestores dos brasileiros que não possuem recursos próprios para adquiri-los – mas possuem casa própria e, por isso, alguma estabilidade financeira – é de extrema importância que existam políticas públicas que financiem tais sistemas junto à população. Além disso, há de se ter a consciência de que, por vezes, a realidade destas pessoas

remete a condições de vida diante das quais como que não faz sentido pensar em investimentos e adaptações arquitetônicas para a instalação de sistemas de autogeração residencial, por mais benéficas que sejam estas alternativas.

As habitações de interesse social, financiadas pelo governo, já envolvem desde 2009, por meio do MCMV, a obrigatoriedade do custeamento do aquecimento solar por parte do poder público. Em alguns conjuntos habitacionais, já houve experiências bem-sucedidas também quanto à instalação de sistemas fotovoltaicos. Já os biodigestores não se aplicam a esse tipo de moradia, uma vez que geralmente os conjuntos construídos com financiamento público já são concebidos com coleta de esgoto.

Outro tipo de política pública, de natureza um pouco distinta, mas que pode ajudar a alavancar a utilização de sistemas de aproveitamento energético residencial a médio e longo prazo, é a inserção do tema em disciplinas de educação ambiental, nos ensinos particular e privado. Por ser um tema de interesse de toda a população – tanto pelo aspecto urgente das mudanças climáticas e sustentabilidade ambiental, quanto pelos interesses de autonomia e economia de energia – os sistemas e a questão em si da autoprodução energética podem ser abordados de maneira contextualizada, desde a educação infantil até o ensino superior, de modo que os conceitos e benefícios se fixem gradualmente entre os alunos, e o conhecimento possa se solidificar ao longo dos anos. Por fim, cabe colocar ainda como política de incentivo aquela que diz respeito ao apoio geral à ciência, bem como ao desenvolvimento de conhecimento nacional e especializado em sistemas energéticos residenciais que deve ser base para ações de planejamento e tomadas de decisão do poder público na busca por soluções às mudanças climáticas e suas consequências.

De modo geral, é necessária a realização de estudos mais profundos e focalizados quanto à viabilidade financeira e às possibilidades de o governo tornar uma ou todas essas tecnologias acessíveis de acordo com o contexto da moradia e perfil dos moradores. As políticas públicas devem ser específicas para os diferentes contextos sociais e espaciais das moradias brasileiras, e, ao mesmo tempo, os governos federal, estadual e municipal precisam criar leis que ajam na direção comum do incentivo à autogeração residencial. É plenamente possível, para alguns casos, incentivar a aplicação de sistemas híbridos fotovoltaicos, de aquecimento solar e de produção de biogás, que idealmente podem atender grande parte da população e trazer vantagens para os diversos agentes do setor energético. Por hora, este trabalho deixa apontada esta política de interesse social, ambiental e de grandes benefícios para todos.

## 9. Conclusões

O potencial de economia de eletricidade estimado para a ampla utilização de SAS nas residências brasileiras é de 14,18TWh/ano, o que representa 9,94% do consumo de eletricidade do setor residencial. Para a geração FV, foi estimado, para o caso em que não há a difusão dos SAS (cenário 1), um potencial de 45,10TWh/ano de autogeração de eletricidade, enquanto, para o cenário de redução de energia elétrica advinda da ampla utilização de SAS nas residências (cenário 2), o potencial de geração FV estimado é de 29,34TWh/ano.

As estimativas chegam a 30% de redução na eletricidade consumida pelo setor residencial, que representam cerca de 7% da eletricidade total consumida no Brasil, segundo o BEN 2020. Já o potencial de produção de biogás estimado para as residências sem coleta de esgoto é de 478.229m<sup>3</sup> equivalentes de GLP ao ano, o que representa uma redução de 4% do consumo total do gás combustível mais utilizado para cocção no país, também com base no consumo do BEN 2020. A produção de biogás, em específico, ainda traria o benefício de tratar o esgoto e reduzir o volume de lixo orgânico de cerca de 32% das residências do país.

Os potenciais teóricos calculados consideram apenas os dados atuais para moradias já existentes, e não fazem projeções de aumento populacional, padrão de consumo energético e desenvolvimento de tecnologias, tais quais são feitas no PNE 2050. No entanto, quando confrontados os potenciais estimados pela EPE (2014) para o ano de 2020 com os dados reais fornecidos pela ABSOLAR (2021) e pelo BEN 2020 (BRASIL, 2020), fica evidente que as estimativas utilizadas para o PNE 2050 (com base nos estudos da EPE) estão subestimados para a geração fotovoltaica residencial. Por isso, é possível concluir que para o horizonte de 2050, ajustando-se o planejamento e as políticas públicas, a energia gerada de forma sustentável nas moradias brasileiras pode se aproximar mais das estimativas deste trabalho do que do subestimado potencial calculado pela EPE (2014).

Esse trabalho surge, portanto, com o intuito de elucidar a grande capacidade que o setor residencial tem de gerar eletricidade, aquecer água a partir do sol e produzir biogás tratando-se o esgoto das moradias onde não há coleta adequada. Evidentemente, muitos outros estudos precisam ser feitos para pautar políticas públicas eficazes para a promoção e popularização de tais práticas energéticas. Mesmo assim, a sinalização das alternativas feita neste trabalho já representa um primeiro passo para a conscientização de que, sim, existem soluções sustentáveis e viáveis em termos ambientais, sociais e energéticos. Cabe aos poderes executivo, legislativo,

judiciário, às distribuidoras de eletricidade e à população brasileira tomar conhecimento de tais soluções e agirem prontamente, especialmente frente ao espectro de urgência das questões climáticas. Os desafios a serem aprofundados pelos próximos estudos residem, portanto, em soluções para a viabilidade econômica, políticas públicas de fomento e em aspectos comportamentais, não na viabilidade técnica da autoprodução energética residencial.

Outra conclusão possível e importante de ser posta ao final desta pesquisa é a de que, para além dos potenciais da autogeração e das ferramentas de eficiência energética, a solução para redução de impactos da energia residencial passa, invariavelmente, pela necessidade de redução de uso e recursos em termos absolutos (SPANGENBERG, 2014; LOREK & SPANGENBERG, 2019a). Evidentemente, tal redução de consumo deve ser pautada pela qualidade de vida, e não se aplica às parcelas da população que já vivem com baixa intensidade energética. Quando o trabalho levanta os recursos energéticos disponíveis nas casas brasileiras e as questões ambientais como impulsionadoras para sua popularização, fica explícita a necessidade de integrar as políticas ambientais às políticas energéticas e ao planejamento territorial, de modo que as alternativas de autogeração para o setor residencial conversem com as metas climáticas, e sejam criadas políticas públicas integradas aos demais setores da economia.

## REFERÊNCIAS

ABES. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. *Ranking ABES da universalização do saneamento*. 2021.

ABRAVA. *PAC SOLAR: O que o aquecimento solar pode fazer pelo Brasil*. Carlos Felipe da Cunha Faria. 2008.

ABSOLAR. *Energia Solar fotovoltaica no Brasil. Infográfico Absolar*. 2021. Disponível em: <<https://www.absolar.org.br/deixeasolarcrescer/wp-content/uploads/2019/12/ohvQK.pdf>>. Acesso em setembro de 2021.

ALVES, E. E. N.; INOUE, K. R. A.; BORGES, A. C. *Biodigestores: construção, operação e usos do biogás e do biofertilizante visando a sustentabilidade das propriedades rurais*. II

Simpósio Brasileiro De Agropecuária Sustentável. Universidade Federal de Viçosa. Viçosa. 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 13969: Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação*. Rio de Janeiro, 1997.

BANSAL, M.; SALINI, R. P.; KHATOD, D. K. *Optimal sizing of a solar–biogas-based cooking system for a cluster of villages*. *International Journal of Sustainable Energy*, Vol. 33, n. 5, p.1017–1032. 2014.

BARREIRA, P. *Biodigestores: energia, fertilidade e saneamento para a zona rural*. 3ª Edição. 2011.

BERHE, T. G. et al. *Biogas Plant Distribution for Rural Household Sustainable Energy Supply in Africa*. *Energy and Policy Research*, 4:1, 10-20. 2017.

BOND, T.; TEMPLETON, M. R. *History and future of domestic biogas plants in the developing world*. *Energy for Sustainable Development*. Vol. 15, p. 347-354. 2011.

BRASIL. *Intended Nationally Determined Contribution*. 2016. Disponível em: <<https://www4.unfccc.int/sites/ndcstaging/PublishedDocuments/Brazil%20First/BRAZIL%20iNDC%20english%20FINAL.pdf>>. Acesso em setembro de 2021.

BRASIL. *Intended Nationally Determined Contribution*. 2020c. Disponível em: <[https://www4.unfccc.int/sites/ndcstaging/PublishedDocuments/Brazil%20First/Brazil%20First%20NDC%20\(Updated%20submission\).pdf](https://www4.unfccc.int/sites/ndcstaging/PublishedDocuments/Brazil%20First/Brazil%20First%20NDC%20(Updated%20submission).pdf)>. Acesso em setembro de 2021.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. *Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil*. 2. ed. Brasília: MCTI, 2017.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. *Resenha Energética Brasileira 2018 –Ano base 2017*. Departamento de Informações e Estudos Energéticos. Brasília: MME, 2018a.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. *Plano Decenal de Expansão de Energia 2027*. Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: MME/EPE, 2018b.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. *Balanço Energético Nacional 2020*. (BEN 2020). Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: MME/EPE, 2020a.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. *Plano Nacional de Eficiência Energética*. (PNE 2009). Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: MME/EPE, 2009.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. *Plano Nacional de Energia horizonte 2030*. (PNE 2030). Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: MME/EPE, 2007.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. *Plano Nacional de Energia horizonte 2050*. (PNE 2050). Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: MME/EPE, 2020b.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. *Balanço Energético Nacional 2021*. (BEN 2021). Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: MME/EPE, 2021.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. *Plano Nacional de Energia 2050* (PNE 2050). Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: MME/EPE, 2020.

CÂMARA DOS DEPUTADOS, 2021a. *Crise hídrica é resultado de má gestão dos reservatórios das usinas, dizem debatedores*. Disponível em: <<https://www.camara.leg.br/noticias/795057-cri-se-hidrica-e-resultado-de-ma-gestao-dos-reservatorios-das-usinas-dizem-debatedores/>>. Acesso em agosto de 2021.

CÂMARA DOS DEPUTADOS. 2021b. *Projeto de Lei PL 5829/2019*. Disponível em: <<https://www.camara.leg.br/propostas-legislativas/2228151>>. Acesso em agosto de 2021.

CANAL SOLAR. 2021. *PL 5829: principais mudanças impostas pelo Marco Legal da GD*. Disponível em: <<https://canalsolar.com.br/pl-5829-principais-mudancas-impostas-pelo-marco-legal-da-gd/>>. Acesso em setembro de 2021.

CASTILHOS, L. P.; DONADEL, C. B. *Impactos de geradores fotovoltaicos distribuídos em uma rede de distribuição de energia elétrica de baixa tensão*. 2021. Disponível em: <<https://cdn.congresso.me/poi2u2lx7d92cnszswlejcc02af2>>. Acesso em outubro de 2021.

CHEN, J. et al. *Impacts of energy consumption structure, energy intensity, economic growth, urbanization on PM2.5 concentrations in countries globally*. *Applied Energy*, Vol. 230, 94-105. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.08.089>.

CHEN, Z.; HUANG, W.; ZHENG, X. *The decline in energy intensity: Does financial development matter?* *Energy Policy*, vol. 134, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.110945>

CRUZ, T. B. *Análise do Potencial de Inserção de Energia Solar Térmica para Aquecimento de Água em Residências Unifamiliares no Brasil*. Dissertação (Mestrado em Programa de Planejamento Energético) – UFRJ/COPPE. Rio de Janeiro, 2016.

DIACONIA. *12 Passos para construir um biodigestor*. Programa Nacional de Habitação Rural. Recife, 2013.

ELETROBRAS; PROCEL. *Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica. Pesquisa de Posse de Equipamentos e Hábitos de Uso – Ano Base 2018 – Classe Residencial – Relatório Brasil*. Rio de Janeiro: ELETROBRAS/PROCEL, 2019.

ELETROBRÁS; PROCEL. *Pesquisa de Posse de Equipamentos e Hábitos de Uso - Ano Base 2005*. [S.l.], 2007.

EPE/MME. *Termo de Referência (TDR) para Elaboração do PNE 2050*. Norma Técnica DEA 05/13. Série Plano Nacional de Energia. Rio de Janeiro, 2013.

EPE/MME. *Eficiência Energética e Geração Distribuída para os próximos 10 anos (2014-2013)*. Nota Técnica DEA 26/14. Série Estudos de Demanda. 2014. Rio de Janeiro, 2014.

EPE/MME. *Potencial dos Recursos Energéticos no Horizonte 2050*. Nota Técnica PR 04/18. Série Recursos Energéticos. Rio de Janeiro, 2018a.

EPE/MME. *Cenários Econômicos para o PNE 2050*. Relatório Parcial 1. Rio de Janeiro, 2018b.

EPE/MME. *Cenários de Demanda para o PNE 2050*. Relatório Parcial 2. Rio de Janeiro, 2018c.

EPE/ MME. *Estudos do Plano Decenal de Expansão de Energia 2031: Micro e Minigeração Distribuída & Baterias*. Superintendência de Estudos Econômicos e Energéticos. 2021.

FERREIRA, J. S. W.; FERRARA, L. *A formulação de uma nova matriz urbana no Brasil, baseada na justiça socioambiental*. In. BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. *Sustentabilidade urbana: impactos do desenvolvimento econômico e suas consequências sobre o processo de urbanização em países emergentes: textos para as discussões da Rio+20: volume 3 habitação social e sustentabilidade*. Organizadores: Brasília: MMA, 2015.

FIGUEREDO, I. C. S. *Tratamento de esgoto na zona rural: diagnóstico participativo e aplicação de tecnologias alternativas*. Tese de doutorado. UNICAMP. Campinas, 2019.

FOELL, W. et al. *Household cooking fuels and technologies in developing economies*. Energy Policy, v. 39, 2011.

HEFFRON, R.J., et al. *A treatise for energy law*. J. World Energy Law Bus. 11 (1), 34–48, 2018.



IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Sinopse Censo Demográfico 2010*. 2010.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Pesquisa Nacional por amostra de domicílios 2013*. Volume 33. Rio de Janeiro, 2014.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua (PNAD-2019)*. 2019.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Síntese de indicadores sociais: uma análise das condições de vida da população brasileira: 2020*. IBGE, Coordenação de População e Indicadores Sociais, Rio de Janeiro, 2020.

INMETRO. *Programa Brasileiro de Etiquetagem - Coletores Solares para Banho*. [S.l.]. 2014a.

INMETRO. *Programa Brasileiro de Etiquetagem - Reservatório térmico de baixa Pressão (BP)*. [S.l.]. 2014b.

INPE – INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. *Atlas brasileiro de energia solar*. 2.ed, 88p. São José dos Campos. 2017.

INSTITUTO DE ENERGIA E MEIO AMBIENTE – IEMA. *Estimativa da exclusão elétrica na Amazônia: metodologia e resultados*. São Paulo: IEMA, 2019.

IEA – INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. *World Energy Outlook 2010*. Paris, 2010.

IEA – INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. *World Energy Outlook*. 2016.

IPCC. *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*. Summary for Policymakers. 2021.

ISAT/GTZ. *Biogas - Application and Product Development*. Biogas Digest Volume II. Information and Advisory Service on Appropriate Technology (ISAT), Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ). 1999.

KONZEN, G. *Difusão de sistemas fotovoltaicos residenciais conectados à rede no Brasil: uma simulação via modelo de Bass*. 108 p. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Energia, USP. São Paulo, SP., 2014. Disponível em: <[http://lsf.iee.usp.br/lsf/images/Mestrado/Dissertacao\\_Gabriel\\_Konzen.pdf](http://lsf.iee.usp.br/lsf/images/Mestrado/Dissertacao_Gabriel_Konzen.pdf)>. Acesso em novembro de 2021.

KOWSARI, R; ZERRIFFI, H. *Energy Policy*. Three dimensional energy profile: A conceptual framework for assessing household energy use. V.39, p.7505–7517. 2011.

KAUARK, G.; BARROS, J. M.; MIGUEZ, P. *Políticas, visibilidades midiáticas e redes*. EDUFBA, Salvador. 2015.

LANGE, W. *Metodologia de mapeamento da área potencial de telhados de edificações residenciais no Brasil para fins de aproveitamento energético fotovoltaico*. Empresa De Pesquisa Energética/Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ). Rio de Janeiro. EPE/GIZ, 2012.

LANDAU, E. C.; MOURA, L. *Variação Geográfica do Saneamento Básico no Brasil em 2010: Domicílios Urbanos e Rurais*. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Embrapa, Brasília, 2016.

LEE, M. et al. *Water-energy nexus for urban water systems: A comparative review on energy intensity and environmental impacts in relation to global water risks*. Applied Energy, Vol. 205, 589-601. 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.08.002>.

LOREK, S., SPANGENBERG, J. H. *Energy sufficiency through social innovation in housing*. *Energy Policy*, 2019.

MAIA, D. S.; LIMA, Y. S.; GOMES, L. S. *Energia solar em habitações populares: uma experiência na política habitacional brasileira*. V Simposio Internacional de la Historia de la Electrificación. La electricidad y la transformación de la vida urbana y social. p. 861-879. 2019.

McCAULEY, D.; HEFFRON, R. *Just transition: Integrating climate, energy and environmental justice*. Energy Policy 119 (2018) 1–7, 2018.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA – MME. Relatório: *Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica – ProGD*. Secretaria de Energia Elétrica. Departamento de Gestão do Setor Elétrico. 2019.

MPPR. *O que é plano diretor?* 2021. Disponível em: <[https://urbanismo.mppr.mp.br/arquivos/File/O\\_que\\_e\\_plano\\_diretor.pdf](https://urbanismo.mppr.mp.br/arquivos/File/O_que_e_plano_diretor.pdf)>. Acesso em outubro de 2021.

O GLOBO, 2021. *E agora, Brasil? Brasileiro deve pagar a conta da crise hídrica até 2025*. Disponível em: <<https://oglobo.globo.com/economia/e-agora-brasil-brasileiro-deve-pagar-conta-da-crise-hidrica-ate-2025-25210706>>. Acesso em setembro de 2021.

ONU NEWS. 2021. *“Passo importante, mas não o suficiente”, afirma Guterres sobre acordo da COP26*. Disponível em: <<https://news.un.org/pt/story/2021/11/1770432>>. Acesso em: 26/12/2021.

PAIM, M. A. et al. *Evaluating regulatory strategies for mitigating hydrological risk in Brazil through diversification of its electricity mix*. Energy Policy. V. 128, p.393–401, 2019.

PASSATUTO, L. A. T. *Análise das propostas de mudança nas regras da geração distribuída no Brasil*. Universidade Federal de Uberlândia. Faculdade de Engenharia Elétrica. Uberlândia, 2020.

RAHMAN, M. M. et al. *Hybrid application of biogas and solar resources to fulfill household energy needs: A potentially viable option in rural areas of developing countries*. Renewable Energy, n.68, p. 35-45. 2014.

SANTOS, A. J. de L.; SCARABELOT, L. T.; RAMPINELLI, G. A. *Análise da complementaridade entre sistemas fotovoltaicos e de aquecimento solar de água em unidades primumidoras do sul de Santa Catarina*. Revista Mundi Engenharia, Tecnologia e Gestão, v.5, n.8, p. 303-01, 303-26, Paranaguá, 2020.

SÃO PAULO. 2020. *CDHU: Placas solares instaladas em casas reduzem até 70% do valor da conta de luz*. Disponível em: <<https://www.saopaulo.sp.gov.br/ultimas-noticias/cdhu-placas-solares-instaladas-em-casas-reduzem-ate-70-do-valor-da-conta-de-luz/>>. Acesso em setembro de 2021.

SÃO PAULO. 2021. *3 coisas para entender sobre a cop 26*. Disponível em: <<https://www.infraestruturameioambiente.sp.gov.br/educacaoambiental/2021/11/3-coisas-para-entender-sobre-a-cop-26/>>. Acesso em dezembro de 2021.

SILVA, J. L. S. et al. *Análise do avanço da geração distribuída no brasil*. Instituto Federal da Bahia (IFBA). Departamento de Engenharia Elétrica. VII Congresso Brasileiro de Energia Solar. Gramado. 2018.

TONETTI, A. L. et al. *Tratamento de esgotos domésticos em comunidades isoladas: referencial para a escolha de soluções*. Biblioteca UNICAMP. 153p. Campinas. 2018.

WRI BRASIL, 2021a. *Nova NDC do Brasil: entenda por que a meta climática foi considerada pouco ambiciosa*. Disponível em: <<https://wribrasil.org.br/pt/blog/clima/nova-ndc-do-brasil-entenda-por-que-meta-climatica-foi-considerada-pouco-ambiciosa>>. Acesso em: 26/09/2021.

WRI BRASIL, 2021b. *O saldo da COP26: o que a Conferência do Clima significou para o Brasil e o mundo*. Disponível em: <<https://wribrasil.org.br/pt/blog/clima/o-saldo-da-cop26-o-que-conferencia-do-clima-significou-para-o-brasil-e-o-mundo>>. Acesso em: 26/12/2021.

## CAPÍTULO 4 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

### 1. Contribuições e limitações deste trabalho

O tema da geração e acesso à energia é de importância indizível aos interesses nacionais. A partir deste entendimento basilar, este trabalho buscou contribuir com o tema a partir da exploração de possibilidades de autogeração sustentável no Brasil, dadas as características do país. É argumento geral o de que dispomos de reais condições de empenhar a prática da geração residencial de energia no território nacional, e que esta poderia ser uma contribuição significativa para pelo menos dois problemas: a falta de segurança energética, ainda em 2021, a algumas parcelas da população, e as questões climáticas urgentes, tanto em âmbito nacional - da ameaça de crise hídrica - quanto em âmbito internacional - da emissão de carbono na atmosfera e aumento da temperatura global. Nesse sentido, a opção pelo investimento em autoprodução residencial de energia parece representar um caminho estratégico interessante, que deve ser considerado pelo Poder Público.

Entretanto, investigar e entender o potencial nacional de autoprodução residencial de energia é uma tarefa tão importante quanto complexa. É necessário considerar muitas variáveis, sob diversas possibilidades de distorção. Sendo assim, é óbvio que este trabalho não é capaz de encerrar o assunto. Seria estranho, inclusive, pretendê-lo. Ainda não foram feitas importantes análises econômicas, estudos regionais e de impactos no sistema elétrico, além de um aprofundamento do tema no âmbito do planejamento territorial e energético nacional. Também não foram avaliados os cenários futuros e questões práticas da viabilidade de transicionar casas já existentes para sistemas que geram eletricidade, aquecem água e talvez produzam biogás para cocção. Porém, dentro de suas limitações de escopo e alcance, este trabalho se empenhou o máximo possível em traçar a viabilidade geral quanto ao assunto – e mesmo diante de qualquer insuficiência, acredita-se que uma contribuição indiscutível é a de, no mínimo, jogar luz à discussão, chamar atenção real para a possibilidade de seguirmos esse caminho, considerando todas as implicações e interesses comuns.

### 2. Trabalhos futuros

Visto que o trabalho confirmou o grande potencial de aproveitamento energético do setor residencial brasileiro e notável a necessidade de se realizarem estudos mais profundos tanto acerca da viabilidade técnica e econômica da aplicação dos sistemas energéticos, quanto relacionados às políticas públicas que devem ser criadas a fim de tornar as tecnologias de autogeração energética residencial populares e difundidas no país. Devem ser feitos estudos e simulações técnicas considerando as diferentes condições geográficas do país, analisando como os sistemas propostos por essa pesquisa desempenhariam trabalhando juntos – chamados sistemas híbridos – e separados, conectados à rede elétrica ou isolados – para esse caso seria necessário dimensionar baterias para backup elétrico.

No âmbito do planejamento territorial seria de bastante relevância que o tema fosse considerado em estudos que pautem a sustentabilidade rural e urbana, resiliência das cidades, alternativas sustentáveis para universalização de saneamento e temas afins dos abordados por esse estudo. Já com relação ao planejamento energético, se faz urgente a atualização dos estudos realizados e considerados para o PNE e o PDE, uma vez os mesmos parecem defasados principalmente frente ao cenário de expansão da GD. É importante que as projeções para os próximos anos sejam mais fiéis às tendências dos últimos cinco anos e que os planejadores passem a analisar os potenciais e estabeleçam metas, pensando no desenvolvimento sustentável e emergência climática. Ademais, as tecnologias de aquecimento solar residencial e autoprodução de biogás para cocção possuem pouca literatura nacional publicada e nenhuma ênfase dos agentes planejadores, mesmo com seu grande potencial energético e de sustentabilidade ambiental.

### 3. Conclusões gerais da dissertação

No que concerne os objetivos levantados no início desse trabalho, é possível afirmar que todos foram atingidos. O capítulo de revisão bibliográfica explana o panorama dos sistemas energéticos residenciais do país, enquanto o artigo avalia a macroviabilidade técnica e estima o potencial teórico da utilização de sistemas de aproveitamento energético solar térmico e fotovoltaico e de biogás proveniente do tratamento de esgoto doméstico. Com isso, foi possível concluir quais perfis de moradias que podem gerar e aproveitar energia de forma sustentável: casas, do tipo própria, com telhados sem sombras e orientação adequada. Também foram pautadas as políticas públicas de incentivo existentes para as tecnologias consideradas e comentadas ações de planejamento e legislação que podem impulsionar a difusão dos sistemas

de aproveitamento energético residencial. Por fim, a dissertação expõe seus limites e sugere temas para trabalhos futuros aprofundarem os estudos sobre o tema, notadamente envolvendo alternativas energéticas para sustentabilidade residencial em contribuição às metas climáticas urgentes até a metade deste século.

## REFERÊNCIAS

ACHEAMPONG, A. O. *Modelling for insight: does financial development improve environmental quality?* Energy Econ. 83, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 13969: Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação.* Rio de Janeiro, 1997.

BANSAL, M.; SALINI, R. P.; KHATOD, D. K. *Optimal sizing of a solar-biogas-based cooking system for a cluster of villages.* International Journal of Sustainable Energy, Vol. 33, n. 5, p.1017-1032. 2014.

BARREIRA, P. *Biodigestores: energia, fertilidade e saneamento para a zona rural.* 3ª Edição. 2011.

BERHE, T. G. et al. *Biogas Plant Distribution for Rural Household Sustainable Energy Supply in Africa.* Energy and Policy Research, 4:1, 10-20. 2017.

BERNARDINI, O.; GALLI, R. *Dematerialization: long-term trends in the intensity of use of materials and energy.* Futures 25 (4), 1993.

BOLLEN, M. H.; HASSAN, F. *Integration of distributed generation in the power system.* John Wiley & Sons, 2011.

BOND, T.; TEMPLETON, M. R. *History and future of domestic biogas plants in the developing world.* Energy for Sustainable Development. Vol. 15, p. 347-354. 2011.

BORGES, F. Q. 4.5.1.3. *Administração pública do setor elétrico: indicadores de sustentabilidade no ambiente residencial do estado do Pará (2001-10)*. Revista de Administração Pública, Rio de Janeiro, Ano 46, Vol. 3, p. 737-751, 2012.

BRASIL. *Intended Nationally Determined Contribution*. 2016. Disponível em: <<https://www4.unfccc.int/sites/ndcstaging/PublishedDocuments/Brazil%20First/BRAZIL%20INDC%20english%20FINAL.pdf>>. Acesso em setembro de 2021.

BRASIL. *Intended Nationally Determined Contribution*. 2020c. Disponível em: <[https://www4.unfccc.int/sites/ndcstaging/PublishedDocuments/Brazil%20First/Brazil%20First%20NDC%20\(Updated%20submission\).pdf](https://www4.unfccc.int/sites/ndcstaging/PublishedDocuments/Brazil%20First/Brazil%20First%20NDC%20(Updated%20submission).pdf)>. Acesso em setembro de 2021.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. *Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil*. 2. ed. Brasília: MCTI, 2017.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. *Resenha Energética Brasileira 2018 –Ano base 2017*. Departamento de Informações e Estudos Energéticos. Brasília: MME, 2018a.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. *Plano Decenal de Expansão de Energia 2027*. Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: MME/EPE, 2018b.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. *Balanço Energético Nacional 2020*. (BEN 2020). Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: MME/EPE, 2020a.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. *Plano Nacional de Eficiência Energética*. (PNE 2009). Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: MME/EPE, 2009.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. *Plano Nacional de Energia horizonte 2030*. (PNE 2030). Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: MME/EPE, 2007.



BRASIL. Ministério de Minas e Energia. *Plano Nacional de Energia horizonte 2050*. (PNE 2050). Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: MME/EPE, 2020b.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. *Balanço Energético Nacional 2021*. (BEN 2021). Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: MME/EPE, 2021.

BRASIL. 2007. *Lei nº 11.445*. Diário Oficial da União, Brasília, DF. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2007/lei/111445.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/111445.htm)>. Acesso em setembro de 2021.

CÂMARA DOS DEPUTADOS, 2021a. *Crise hídrica é resultado de má gestão dos reservatórios das usinas, dizem debatedores*. Disponível em: <<https://www.camara.leg.br/noticias/795057-crise-hidrica-e-resultado-de-ma-gestao-dos-reservatorios-das-usinas-dizem-debatedores/>>. Acesso em agosto de 2021.

CÂMARA DOS DEPUTADOS. 2021b. *Projeto de Lei PL 5829/2019*. Disponível em: <<https://www.camara.leg.br/propostas-legislativas/2228151>>. Acesso em agosto de 2021.

CANAL SOLAR. 2021. *PL 5829: principais mudanças impostas pelo Marco Legal da GD*. Disponível em: <<https://canalsolar.com.br/pl-5829-principais-mudancas-impostas-pelo-marco-legal-da-gd/>>. Acesso em setembro de 2021.

CASTRO, R. D. de. *Energia solar térmica e fotovoltaica em residências: estudo comparativo em diversas localidades do Brasil*. Dissertação (mestrado em Planejamento de Sistemas Energéticos) – Faculdade de Engenharia Mecânica – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2015.

CINTRA, R. H. S. *Panorama e perspectivas das políticas públicas e normativas para a transição energética no contexto da UNASUL*. Tese (doutorado em Ciências Ambientais) – Centro de ciências biológicas e da saúde – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2018.

COELHO, F. L. N. de A. *O incentivo à moradia ambientalmente correta: o uso da energia renovável*. Rev. Direito Econ. Socioambiental, Curitiba, v. 5, n. 1, p. 180-198, jan./jun. 2014.

DAS, S. S., KUMAR, P.; DANDHU, S. S. *Hybrid photovoltaic–thermal system for simultaneous generation of power and hot water utilising mobiltherm as heat transfer fluid*. International Journal of Sustainable Energy, 2020.

DIACONIA. *12 Passos para construir um biodigestor*. Programa Nacional de Habitação Rural. Recife, 2013.

DSIRE. Database of State Incentives for Renewables & Efficiency. 2021. *Programs: summary maps*. Disponível em: <<https://programs.dsireusa.org/system/program/maps>>. Acesso em setembro de 2021.

ENERGIA SOLAR. Solar Térmica. 2015. Disponível em: <<https://pt.solar-energia.net/solar-termica>> Acesso em junho de 2017.

ELETROBRAS – Centrais Elétricas Brasileiras S.A.; PROCEL. *Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica. Pesquisa de Posse de Equipamentos e Hábitos de Uso – Ano Base 2018 – Classe Residencial – Relatório Brasil*. Rio de Janeiro: ELETROBRAS/PROCEL, 2019.

ELETROBRÁS – Centrais Elétricas Brasileiras S.A; PROCEL. *Pesquisa de Posse de Equipamentos e Hábitos de Uso - Ano Base 2005*. [S.l.]. 2007.

FIGUEREDO, I. C. S. *Tratamento de esgoto na zona rural: diagnóstico participativo e aplicação de tecnologias alternativas*. Tese de doutorado. UNICAMP. Campinas, 2019

FOELL, W. et al. *Household cooking fuels and technologies in developing economies*. Energy Policy 39, 2011.

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. *The impact of disasters and crises on agriculture and food security 2017*. 2018.

GALLI, R. *The relationship between energy intensity and income levels: forecasting long term energy demand in Asian emerging countries*. Energy J, 1998.

HEFFRON, R. J; MCCAULEY, D. *Energy Policy*. The concept of energy justice across the disciplines. V. 105. p. 658–667. 2017.

HEFFRON, R. J.; TALUS, K. *Energy Research & Social Science*. The evolution of energy law and energy jurisprudence: Insights for energy analysts and researchers. v. 19 p. 1–10. 2016a.

HEFFRON, R.J., et al. *A treatise for energy law*. J. World Energy Law Bus. 11 (1), 34–48, 2018.

HEFFRON, R. J.; TALUS, K. *The development of energy law in the 21<sup>st</sup> century: a paradigm shift?* Journal of World Energy Law and Business. V. 9, p.89–202. 2016b.

HORTOLÂNDIA. *Plano Diretor cria novas diretrizes para construção de edifícios*. Prefeitura Municipal de Hortolândia, 2014. Disponível em: <<http://www2.hortolandia.sp.gov.br/secretariadeplanejamento-urbano/item/5554-plano-diretor-cria-novas-diretrizes-para-construcao-de-edificios>>. Acesso em: novembro de 2021.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Sinopse Censo Demográfico 2010*. 2010.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Pesquisa Nacional por amostra de domicílios 2013*. Volume 33. Rio de Janeiro, 2014.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Classificação e Caracterização dos espaços rurais e urbanos do Brasil*. 2017.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua (PNAD-2019)*. 2019.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Síntese de indicadores sociais: uma análise das condições de vida da população brasileira: 2020*. IBGE, Coordenação de População e Indicadores Sociais, Rio de Janeiro, 2020

INMETRO. *Programa Brasileiro de Etiquetagem - Coletores Solares para Banho*. [S.l.]. 2014a.

INMETRO. *Programa Brasileiro de Etiquetagem - Reservatório térmico de baixa Pressão (BP)*. [S.l.]. 2014b.

INMETRO. *Tabela de consumo de energia elétrica – Chuveiros elétricos*. [S.l.]. 2014.

INPE – INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. *Atlas brasileiro de energia solar*. 2.ed, 88p. São José dos Campos. 2017.

INSTITUTO DE ENERGIA E MEIO AMBIENTE – IEMA. *Estimativa da exclusão elétrica na Amazônia: metodologia e resultados*. São Paulo: IEMA, 2019.

IEA - INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. *Renewable Energy 2017*. IEA, 2017. Disponível em: <<https://www.iea.org/topics/renewables/>>. Acesso em novembro de 2018.

IEA - INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. *Energy Efficiency 2017*. IEA, 2017. Disponível em: <<https://www.iea.org/reports/energy-efficiency-2017>>. Acesso em agosto de 2021.

IEA – INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. *World Energy Outlook 2010*. Paris, 2010.

IEA – INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. *World Energy Outlook*. 2016.

IEI – INTERNATIONAL ENERGY INITIATIVE. *Geração distribuída e eficiência energética: Reflexões para o setor elétrico de hoje e do futuro*. 1ª Edição. Campinas. 2018.

ITRE - European Parliament Committee on Industry, Research and Energy. *Decentralized Energy Systems*. Directorate-general for internal policies. Policy Department. 2010

IPCC. *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*. Summary for Policymakers. 2021.

IPCC. *Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation: Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. USA, 2012.

IPCC. *Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems*. Geneva, 2019.

JANUZZI, G. M.; SANGA, G. A. *LPG subsidies in Brazil: an estimate*. Energy for Sustainable Development VIII. 2004.

JEFFERSON, M. *Energy Policy*. Renewable and low carbon technologies policy. V. 123, p.367–372. 2018.

KONZEN, G. *Difusão de sistemas fotovoltaicos residenciais conectados à rede no Brasil: uma simulação via modelo de Bass*. 108 p. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Energia, USP. São Paulo, SP., 2014. Disponível em: <[http://lsf.iee.usp.br/lsf/images/Mestrado/Dissertacao\\_Gabriel\\_Konzen.pdf](http://lsf.iee.usp.br/lsf/images/Mestrado/Dissertacao_Gabriel_Konzen.pdf)>. Acesso em setembro de 2021.

KOWSARI, R; ZERRIFFI, H. *Energy Policy*. Three dimensional energy profile: A conceptual framework for assessing household energy use. V.39, p.7505–7517. 2011.

KAUARK, G.; BARROS, J. M.; MIGUEZ, P. *Políticas, visibilidades midiáticas e redes*. EDUFBA, Salvador. 2015.

LANDAU, E. C.; MOURA, L. *Variação Geográfica do Saneamento Básico no Brasil em 2010: Domicílios Urbanos e Rurais*. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Embrapa, Brasília, 2016.

LAMBERTS, R. et al. *Casa eficiente: consumo e geração de energia*. UFSC/ LabEEE. Florianópolis. V. 2, 76 p. 2010.

LANSING, S. et al. *Quantifying electricity generation and waste transformations in a low-cost, plug-flow anaerobic digestion system*. Ecological Engineering. 34, 332-348. 2008.

LESCAROUX, F. *Dynamics of final sectoral energy demand and aggregate energy intensity*. Energy Policy 39 (1), 2010.

LOREK, S., SPANGENBERG, J. H. *Energy sufficiency through social innovation in housing*. Energy Policy, 2019.

LOREK, S., SPANGENBERG, J. H. *Sustainable consumption within a sustainable economy – beyond green growth and green economies*. J. Clean. Prod. 63, p. 33–44, 2014.

MACHADO, S. T. et al. *Geração de Biogás com Dejetos Provenientes da Piscicultura*. Universidade Federal da Grande Dourados. 2013.

MAIA, D. S.; LIMA, Y. S.; GOMES, L. S. *Energia solar em habitações populares: uma experiência na política habitacional brasileira*. V Simposio Internacional de la História de la Electrificación. La electricidad y la transformación de la vida urbana y social. p. 861-879. 2019

McCAULEY, D.; HEFFRON, R. *Just transition: Integrating climate, energy and environmental justice*. Energy Policy 119 (2018) 1–7, 2018.

MEDLOCK, K. B.; SOLIGO, R. *Economic development and end-use energy demand*. Energy J. 22 (2), 2001.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA – MME. *Relatório: Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica – ProGD*. Secretaria de Energia Elétrica. Departamento de Gestão do Setor Elétrico. 2019.

MORAES-SANTOS, E. C. *Viabilidade técnica e econômica do uso da energia solar térmica em condomínios horizontais com habitações populares*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá. 2015.

MOURA, J. P. *Estudo do dimensionamento da produção de biogás com utilização de resíduos residenciais, industriais e de matrizes suínas a partir de uma revisão da literatura*. 2012.

NADIMI, R.; TOKIMATSU, K. *Modeling of quality of life in terms of energy and electricity consumption*. *Applied Energy*, v. 212, p. 1282-1294, 2018.

NARULA, K. Comparative assessment of energy sources for attaining Sustainable Energy Security (SES): The case of India's residential sector. *International Journal of Sustainable Energy Planning and Management*, vol.05, p. 27-40, 2015.

NOGUEIRA, L. A. H. Energia: conceitos e fundamentos. *In: Conservação de energia: Eficiência energética e instalação de equipamentos*. Itajubá, Eletrobrás/ PROCEL EDUCAÇÃO. P. 13-41. 2001.

O GLOBO, 2021. *E agora, Brasil? Brasileiro deve pagar a conta da crise hídrica até 2025*. Disponível em: <<https://oglobo.globo.com/economia/e-agora-brasil-brasileiro-deve-pagar-conta-da-crise-hidrica-ate-2025-25210706>>. Acesso em setembro de 2021.

ONU – ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. *World Population Prospects 2019: Highlights*. Department of Economic and Social Affairs, Population Division, 2019.

ONU NEWS, 2021. “*Passo importante, mas não o suficiente*”, afirma Guterres sobre acordo da COP26. Disponível em: <<https://news.un.org/pt/story/2021/11/1770432>>. Acesso em: 26/12/2021.

PAIM, M. A. et al. *Evaluating regulatory strategies for mitigating hydrological risk in Brazil through diversification of its electricity mix*. *Energy Policy*. V. 128, p.393–401, 2019.

PASTEN, C.; SANTAMARINA, J. C. *Energy and quality of life. Energy Policy*, v. 49, p. 468-476, 2012.

PAULISTA, C. R.; MACHADO, T. S.; RANGEL, J. J. de A. *Analysis on the photovoltaic electricity generation expansion and carbon dioxide emissions. Revista Produção e Desenvolvimento*, [S.l.], v. 3, n. 1, p. 12-25. 2017. Disponível em: <<http://revistas.cefet-rj.br/index.php/producaoedesarrollo/article/view/208/158>>. Acesso em setembro de 2018.

PLANO DIRETOR PIRACICABA. *Proposta: utilização de energia solar fotovoltaica. Prefeitura Municipal de Piracicaba*, 2018. Disponível em: <<http://planodiretor.piracicaba.sp.gov.br/proposta/utilizacao-de-energia-solar-fotovoltaica/>>. Acesso em outubro de 2021.

PLUGGE, C. M. *Biogas: Microbial biotechnology*. Vol.10, p. 1128-1130, 2017.

POESCHL, M.; WARD, S.; OWENDE, P. *Environmental impacts of biogas deployment – Part II: life cycle assessment of multiple production and utilization pathways. Journal of Cleaner Production*. 2011.

QUINN, A.K et al. *An analysis of efforts to scale up clean household energy for cooking around the world. Energy for Sustainable Development*, n.46, 2018.

RAHMAN, M. M. et al. *Hybrid application of biogas and solar resources to fulfill household energy needs: A potentially viable option in rural areas of developing countries. Renewable Energy*, n.68, p. 35-45. 2014.

RODRIGUES, L. A.; FÉRES, J. G.; MATTOS, L. B. *Aquecimento global e a demanda residencial de energia elétrica no Brasil. Associação Nacional dos Centros de Pós-Graduação em Economia*. 2009.



ROUTLEY, N. *Ranked: Countries with the Most Sustainable Energy Policies*. Visual Capitalist, 2019. Disponível em: < <https://www.visualcapitalist.com/countries-most-sustainable-energy-policies/>>. Acesso em setembro de 2021.

SADORSKY, P. *Do urbanization and industrialization affect energy intensity in developing countries?* Energy Econ. 37, 2013.

SANTOS, F. A. C. M.; SANTOS, F. M. S. M. *Geração distribuída versus centralizada*. Millenium – Journal of Education, Technologies, and Health. n. 35. 2016.

SANTOS, A. J. de L.; SCARABELOT, L. T.; RAMPINELLI, G. A. *Análise da complementaridade entre sistemas fotovoltaicos e de aquecimento solar de água em unidades prosumidoras do sul de Santa Catarina*. Revista Mundi Engenharia, Tecnologia e Gestão, v.5, n.8, p. 303-01, 303-26, Paranaguá, 2020.

SANTOS, M. A. et al. *Emissões de gases do efeito estufa por hidrelétricas*. O Ecologia Brasiliensis, Rio de Janeiro, v. 12, n. 1, p.116-129, 2008.

SÃO PAULO. 2021. *3 coisas para entender sobre a cop 26*. Disponível em: <<https://www.infraestruturameioambiente.sp.gov.br/educacaoambiental/2021/11/3-coisas-para-entender-sobre-a-cop-26/>>. Acesso em dezembro de 2021.

SÃO PAULO. *CDHU: Placas solares instaladas em casas reduzem até 70% do valor da conta de luz*. Governo do Estado de São Paulo, 2021. Disponível em: <<https://www.saopaulo.sp.gov.br/ultimas-noticias/cdhu-placas-solares-instaladas-em-casas-reduzem-ate-70-do-valor-da-conta-de-luz/>>. Acesso em setembro de 2021.

SÃO PAULO. Prefeitura Municipal. *Plano Diretor São Paulo. Lei nº 16.050/2014*. Disponível em: <<http://legislacao.prefeitura.sp.gov.br/leis/lei-16050-de-31-de-julho-de-2014>>. Acesso em: novembro de 2021.

SEIA. 2021. Solar Energy Industries Association. *Solar policy*. Disponível em: <<https://www.seia.org/initiatives/solar-policy>>. Acesso em setembro de 2021.

SHARIF, A. et al. *The renewable energy consumption-environmental degradation nexus in Top-10 polluted countries: Fresh insights from quantile-onquantile regression approach*. Renewable Energy, v. 150, p. 670-690, 2020.

SILVA, A. S.; LUIZ, F.; MANSUR, A. C.; GHISI, E. *Usos finais de eletricidade e rotinas de uso como base para estratégias de eficiência energética por meio de auditoria residencial*. Paranoá, Brasília, v. 12, p. 85-94, 2014.

SILVA, J. L. S. et al. *Análise do avanço da geração distribuída no brasil*. Instituto Federal da Bahia (IFBA). Departamento de Engenharia Elétrica. VII Congresso Brasileiro de Energia Solar. Gramado. 2018.

SINHA, A.; SHAHBAZ, M. *Estimation of environmental Kuznets curve for CO2 emission: role of renewable energy generation in India*. Renewable Energy, v. 119, p 703-711, 2018.

SMIL, V. *Energy Transitions: History, Requirements, Prospects*. 2010.

SMIL, V. *Energy Transitions: Global and National Perspectives*. 2017.

STOEGLEHNER, G. et. al. *Sustainability appraisal of residential energy demand and supply - a life cycle approach including heating, electricity, embodied energy and mobility*. Energy, Sustainability and Society, 2014.

SUN, J. W. *The decrease in the difference of energy intensities between OECD countries from 1971 to 1998*. Energy Policy 30 (8), 2002.

TEIXEIRA, A. D. A.; CARVALHO, M. C.; LEITE, L. H. D. M. *Análise de Viabilidade para a Implantação do Sistema de Energia Solar Residencial*. Exacta, v. 4, p. 117-136, Belo Horizonte, 2011.

TONETTI, A. L. et al. Tratamento de esgotos domésticos em comunidades isoladas: *referencial para a escolha de soluções*. Biblioteca UNICAMP. 153p. Campinas. 2018 .

VOIGT, S.; DE CIAN, E.; SCHYMURA, M.; VERDOLINI, E. *Energy intensity developments in 40 major economies: Structural change or technology improvement?* Energy Econ. 41, 2014.

WANG, D. et al. *Simulation of a solar-biogas hybrid energy system for heating, fuel supply, and power generation*. International Journal of Energy Research, n. 41, p.1914–1931. 2017.

WARD, H.; RADEBACH, A.; VIERHAUS, I.; FUGENSCHUH, A.; STECKEL, J. C. *Reducing global CO2 emissions with the technologies we have*. Resour. Energy Econ, 2017.

WORLD ENERGY COUNCIL. Worldenergy, 2021. Disponível em: <<https://www.worldenergy.org/>>. Acesso em setembro de 2021.

WORLD ENERGY COUNCIL. World Energy Trilemma Index 2019. Worldenergy, 2019. Disponível em: <<https://www.worldenergy.org/publications/entry/world-energy-trilemma-index-2019>>. Acesso em setembro de 2021.

WORLD ENERGY COUNCIL. World Energy Trilemma Index 2021. Worldenergy, 2021. Disponível em: <<https://www.worldenergy.org/publications/entry/world-energy-trilemma-index-2021>>. Acesso em setembro de 2021. WEC, 2021.

WMO – WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. *Statement on the State of the Global Climate in 2019*. 2020.

WRI BRASIL, 2021. *O saldo da COP26: o que a Conferência do Clima significou para o Brasil e o mundo*. Disponível em: < <https://wribrasil.org.br/pt/blog/clima/o-saldo-da-cop26-o-que-conferencia-do-clima-significou-para-o-brasil-e-o-mundo>>. Acesso em: 26/12/2021.